



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

METODOLOGÍA PARA LA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Arístides Daniel Castro Esteban
Asesorado por el Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**METODOLOGÍA PARA LA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ARÍSTIDES DANIEL CASTRO ESTEBAN

ASESORADO POR EL ING. MARIO ESTUARDO ARRIOLA ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andonai Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

METODOLOGÍA PARA LA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2015.



Arístides Daniel Castro Esteban



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala, 29 de Marzo de 2017

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 **"METODOLOGÍA PARA LA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO"** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Arístides Daniel Castro Esteban, con carné No. 201122972, quien contó con la asesoría del suscrito.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y del Coordinador del Departamento de Topografía y Transportes Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Arístides Daniel Castro Esteban **METODOLOGÍA PARA LA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo 2017

/mrrm.




Más de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **METODOLOGÍA PARA LA REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**, presentado por el estudiante universitario: **Aristides Daniel Castro Esteban** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2017



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el que guía mis pasos, demostrándome su bondad e infinita misericordia cada día para con mi vida y la de mi familia, porque sin Él no podría hacer nada.
- Mis padres** Juan Arístides Castro Ruiz y Norma Aravea Esteban Chavez, por su amor, paciencia y enseñanzas durante mi vida, y por enseñarme que con esfuerzo y con la ayuda de Jehová, nuestro Dios, todo es posible.
- Mis hermanos** Josue Alberto y Aravea Abigail Castro Esteban, por su apoyo, por el cariño demostrado en todo momento y porque me hacen querer ser un buen ejemplo para ellos.
- Mis amigos** Cristian Nájera, Roció Monterroso, José Ventura, Isaac Alonzo, David Alonzo y Nehemías Castro, por las buenas experiencias vividas y por ser de una u otra forma un apoyo en el desarrollo y culminación de mi carrera universitaria.
- Mi familia** A todos mis tíos y primos por ser de gran bendición y apoyo en mi vida.

Mis abuelos

Gonzalo Castro (q.e.p.d), Consuelo Ruiz (q.e.p.d), Daniel Esteban y Josefina Chavez, por sus enseñanzas y muestras de cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios universitarios y proveerme las herramientas para desarrollarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por todos los conocimientos adquiridos.
Abigail Cárcamo	Por tus muestras de amor, motivación e impulsarme a ser una mejor persona. (Filipenses 4:13).
Familia Cárcamo Vásquez	Por ser una gran bendición en mi vida, motivarme a siempre seguir adelante y por el cariño hacia mi persona.
Familia Alonzo Ovalle	Por ser una familia bendecida por Dios y que me ha abierto las puertas de su hogar y demostrado mucho cariño.
Azucena Alonzo	Por tantos consejos, muestras de cariño y motivación cuando lo he necesitado.
Ing. Mario Arriola	Por su amistad, gran ayuda y tiempo dedicado en la realización de este trabajo.
Paige Castro	Por ser una alegría y bendición de Dios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. DEFINICIONES Y CONCEPTOS	1
1.1. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes (libro azul de caminos)	1
1.2. Pavimento rígido.....	1
1.2.1. Definición.....	2
1.2.2. Pavimentos de concreto simple	3
1.2.3. Pavimentos de concreto continuamente reforzados.....	3
1.2.4. Detalles constructivos.....	4
1.2.5. Conformación	9
1.2.6. Función de las capas del pavimento.....	10
1.2.6.1. Subrasante	11
1.2.6.2. Capa base o sub-base.....	11
1.2.6.3. Carpeta de rodadura.....	12
1.3. Materiales	13
1.3.1. Cemento hidráulico.....	13
1.3.2. Agregado fino	13
1.3.3. Agregado grueso	14

1.3.4.	Agua.....	14
1.3.5.	Aditivos.....	14
1.3.6.	Acero de refuerzo.....	15
1.4.	Construcción de juntas.....	16
1.4.1.	Tipos de juntas.....	17
1.4.1.1.	Transversales de contracción.....	17
1.4.1.2.	Transversales de construcción.....	18
1.4.1.3.	Juntas de expansión.....	18
1.4.1.4.	Longitudinales de contracción.....	19
1.4.1.5.	Longitudinales de construcción.....	19
1.4.1.6.	Juntas en ángulo (esviajadas).....	20
1.4.2.	Materiales para juntas.....	20
1.4.3.	Formación de juntas.....	20
1.4.3.1.	Por inserción de tiras o fajas premoldeadas.....	21
1.4.3.2.	Juntas inducidas en el concreto fresco.....	22
1.4.3.3.	Juntas conformadas con formaleta.....	23
1.4.3.4.	Juntas aserradas en el concreto endurecido.....	24
1.4.4.	Relleno y sellado de juntas.....	26
1.4.4.1.	Selladores en frío.....	30
1.4.4.2.	Selladores en caliente.....	31
1.4.4.3.	Selladores premoldeados.....	31
2.	TIPOS DE FALLAS.....	33
2.1.	Daños por construcción.....	34
2.2.	Daños por operación.....	40
2.3.	Fisuración.....	41

2.4.	Agrietamiento.....	42
2.4.1.	Grieta de esquina	43
2.4.2.	Grieta transversal	44
2.4.3.	Grieta longitudinal.....	46
2.4.4.	Grieta mapeada.....	48
2.4.5.	Agrietamiento por durabilidad	49
2.4.6.	Grietas por barras de transmisión desalineadas.....	50
2.5.	Daños en las juntas	51
2.5.1.	Pérdida del sello en junta longitudinal y transversal	52
2.5.2.	Desportillamiento de junta longitudinal y transversal	54
2.5.3.	Separación de la junta longitudinal	55
2.6.	Deterioros superficiales	57
2.6.1.	Descascaramiento	57
2.6.2.	Superficie pulimentada	59
2.6.3.	Pérdida puntual.....	60
2.7.	Deterioros avanzados.....	61
2.7.1.	Segmentación.....	61
2.7.2.	Escalonamiento	63
2.7.3.	Reparaciones deterioradas.....	64
2.7.4.	Bombeo	66
3.	REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	69
3.1.	Requisitos de construcción.....	71
3.1.1.	Composición de la mezcla.....	71
3.2.	Maquinaria y equipo	72
3.3.	Reparación de espesor parcial	75
3.3.1.	Materiales	75

3.3.2.	Preparación del área de bacheo	77
3.3.3.	Preparación de las juntas	78
3.3.4.	Colocación del material de bacheo	78
3.4.	Reparación de juntas	81
3.4.1.	Materiales.....	81
3.4.2.	Preparación de las juntas.....	82
3.4.3.	Aplicación del sellador.....	83
3.5.	Reparación de grietas	84
3.6.	Costura de fisuras	86
3.7.	Elevación del pavimento	87
3.8.	Estabilización de losas	89
3.9.	Colocación de dovelas	92
3.10.	Fresado superficial	95
3.11.	Reparación a profundidad total	95
3.11.1.	Tamaño de las reparaciones.....	97
3.11.2.	Materiales.....	99
3.11.3.	Proceso constructivo	100
3.11.3.1.	Aislamiento del área deteriorada.....	101
3.11.3.2.	Izado o fracturado del pavimento	101
3.11.3.3.	Reconstrucción de la base	103
3.11.3.4.	Instalación de dispositivos de transferencia de carga.....	103
3.11.3.4.1.	Barras pasajuntas	104
3.11.3.4.2.	Dovelas	104
3.11.3.5.	Colocación y acabado del concreto....	105
3.11.3.6.	Curado y protección del concreto.....	106
3.11.3.7.	Corte y sellado de las nuevas juntas..	107
3.12.	Pavimentos de tránsito bajo	108
3.13.	Apertura del tránsito	108

CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFÍA.....	115
ANEXOS	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sección típica de pavimento rígido.....	2
2.	Esquema representativo de un pavimento de concreto	4
3.	Elementos que conforman la estructura de un pavimento rígido.....	10
4.	Mecanismos de transmisión de carga en las juntas	16
5.	Aumento de espesor de losas en junta de expansión	19
6.	Junta longitudinal formada por inserción de una banda de espuma de etileno acetato de vinilo	22
7.	Junta de contracción formada en concreto fresco	23
8.	Junta por formaleta machihembrada	24
9.	Formación de grieta por contracción por corte de sierra	25
10.	Tipos de corte en juntas	26
11.	Sellado en juntas.....	27
12.	Inserción de la tira de respaldo para relleno de juntas	27
13.	Factor de forma del sello	29
14.	Sellos de compresión premoldeados	32
15.	Índices de servicio.....	40
16.	Diferencia entre grieta y fisura.....	42
17.	Esquema de grieta de esquina.....	43
18.	Grieta en esquina.....	44
19.	Esquema de grieta transversal.....	45
20.	Grieta transversal.....	46
21.	Esquema de grieta longitudinal	46
22.	Grieta longitudinal	47

23.	Grieta mapeada	48
24.	Esquema de grietas por durabilidad	49
25.	Grietas por durabilidad.....	50
26.	Grietas por barras de transmisión desalineadas.....	51
27.	Esquema de pérdida de sello en juntas	52
28.	Pérdida de sello en juntas.....	53
29.	Esquema de desportillamiento en juntas	54
30.	Desportillamiento en juntas.....	55
31.	Esquema de separación de la junta longitudinal.....	56
32.	Separación de junta longitudinal	57
33.	Descascaramiento	58
34.	Superficie pulimentada	59
35.	Esquema de pérdida puntual en pavimento.....	60
36.	Pérdida puntual.....	61
37.	Esquema de segmentación en losas	62
38.	Segmentación	62
39.	Esquema de escalonamiento.....	63
40.	Escalonamiento	64
41.	Esquema de reparaciones deterioradas	64
42.	Reparaciones deterioradas.....	66
43.	Bombeo.....	67
44.	Impacto del mantenimiento en la vida útil del pavimento	69
45.	Viga Benkelman para ensayo de estabilidad de la losa.....	74
46.	Reparación a espesor parcial	75
47.	Operación de costura de fisuras	86
48.	Elevación del pavimento	87
49.	Configuraciones típicas de agujeros usadas en la estabilización de losas	92
50.	Sistema de colocación de dovelas.....	93

51.	Tolerancias en la ubicación de las barras de transferencia.....	94
52.	Reparación en toda la profundidad de la losa	96
53.	Esquema de distancia entre reparaciones a profundidad total.....	99
54.	Cortes y energía de compactación para la remoción del concreto.....	102
55.	Concepto de transferencia de carga	105
56.	Diseño de la caja receptora del sellante para junta longitudinal y transversal.....	107

TABLAS

I.	Asentamientos recomendados para concretos vibrados en diversos tipos de construcción.....	6
II.	Dimensiones de caja para sellos aplicados en campo	29
III.	Dimensiones del sello y de la caja receptora para sellos premoldeados.....	30
IV.	Granulometría de arena para el sellado	82
V.	Tipo y severidad del deterioro que requiere de reparación a profundidad total.....	97
VI.	Tiempos aproximados para el desarrollo de resistencia (13,8 MPa) para diversos materiales de relleno de reparación.....	100
VII.	Resistencia mínima de apertura al tránsito para reparaciones a espesor total.....	109

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
°	Grados sexagesimales
°C	Grados centígrados
+/-	Incerteza
KN	Kilonewton
KPa	Kilopascal
Psi	Libra por pulgada cuadrada
LC	Línea central de la vía
L/m²	Litros por metro cuadrado
Mpa	Megapascal
m	Metro
m²	Metro cuadrado
mm	Milímetro
%	Porcentaje
“	Pulgada

GLOSARIO

AASHTO	American Association of Highways and Transportation Officials.
ACI	American Concrete Institute.
ACPA	American Concrete Pavement Association.
Agregado	Material sólido inerte utilizado para conformar el concreto.
Asentamiento	Descenso de nivel medido con ayuda del cono de Abrams, que permite medir la consistencia del concreto.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Barra pasajunta	Barra de acero utilizada en la junta longitudinal de un pavimento de concreto hidráulico.
Bombeo	Falla que se identifica por la eyección de agua con mezcla fina a través de las juntas, grietas y bordes del pavimento al paso de vehículos.
Brin	Tela ordinaria y gruesa de lino.

CBR	California Bearing Ratio.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Desportillamiento	Rotura de un elemento producto del deterioro o maltrato.
Deterioro	Empeoramiento del estado, calidad, valor, etc., de un elemento.
Dovela	Barra de acero liso utilizada en las juntas transversales de un pavimento de concreto hidráulico.
Dosificación	Establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el concreto.
Erosión	Desgaste producido en los suelos por la acción de agentes externos.
Flexión	Deformación que presenta un elemento estructural en dirección perpendicular a su eje longitudinal.
Formaleta	Molde temporal para el concreto fresco que se retira una vez el concreto alcanza una resistencia suficiente para sostenerse por sí mismo.
Fraguado	Cambio de estado plástico a estado sólido en el concreto.

Incompresible	Que no puede ser comprimido.
Junta	Elemento constituido en las losas de un pavimento que tiene como función separar el pavimento en una serie de losas para controlar la fisuración.
Lechada	Mezcla de cemento y agua.
Llana manual	Herramienta que se utiliza para alisar pavimentos de concreto hidráulico.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
PCA	Portland Cement Association.
Pavimentadora	Máquina utilizada para la construcción de pavimentos.
Período de diseño	Tiempo por el cual se estima que la estructura funcionará satisfactoriamente.
Ranurado	Creación de un canal por serrado en las juntas de las losas del pavimento.
Rehabilitación	Acción constructiva que se realiza para mejorar las condiciones del pavimento.
Segregación	Acumulación del agregado grueso en la parte baja de una estructura de concreto.

Serrado

Cortar un elemento con una sierra.

Slump

Ensayo que tiene por objeto determinar la trabajabilidad del concreto.

Trabajabilidad

Grado de consistencia y manejabilidad del concreto, facilidad de adaptarse a la formaleta.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en establecer una metodología que permita al interesado identificar, analizar causas, medir y reparar los distintos tipos de deterioro presentes en un pavimento de concreto hidráulico, con el propósito de evitar reparaciones recurrentes producto de la mala práctica de los procesos constructivos y de mantenimiento.

Para comprender de mejor manera la causa de los deterioros es fundamental conocer en primera instancia el proceso de construcción del pavimento, analizando cada una de sus etapas y reconociendo en cuáles se presentan los procesos que puedan causar daños a la estructura. También es igual de importante la selección de los materiales que permitirán el desarrollo de la resistencia y un buen funcionamiento en el pavimento. Además se analizan los daños en la estructura, producto de la puesta en servicio del pavimento, explicando los distintos tipos de deterioros que se presentan tanto en la superficie como en su subestructura, como resultado de la aplicación repetitiva de cargas de tránsito y factores ambientales.

Finalmente, se explican los procesos de rehabilitación que involucran únicamente la superficie o la totalidad del espesor del pavimento, estableciendo criterios y recomendaciones que permitan una buena reparación repercutiendo en un aumento de la vida útil del pavimento y eliminando la recurrencia de las reparaciones.

OBJETIVOS

General

Establecer una metodología de rehabilitación de pavimentos de concreto hidráulico que permita un buen comportamiento y evite la reincidencia de reparaciones.

Específicos

1. Establecer procedimientos de mantenimiento y/o corrección según cada tipo de falla.
2. Determinar y analizar los procesos de construcción y operación que pueden causar daños al pavimento de concreto hidráulico.
3. Establecer la importancia del uso y mantenimiento de cualquier tipo de junta en el pavimento de concreto hidráulico.
4. Identificar los tipos de deterioro más comunes que se presentan en un pavimento de concreto hidráulico.
5. Analizar la influencia de los procedimientos de rehabilitación y mantenimiento en el período de diseño y condiciones de servicio del pavimento.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala el uso de los pavimentos de concreto hidráulico data de los años setenta del siglo XX. Por medio de la experiencia se ha notado que este tipo de pavimento representa una opción competitiva en durabilidad, bajo costo de mantenimiento, seguridad y comportamiento, provocando un aumento en su uso como proyecto vial.

Como todo tipo de estructura, el pavimento sufre deterioros consecuencia de su puesta en servicio, efectos del tiempo e intemperismo. Estos deterioros disminuyen considerablemente la vida útil, comodidad y velocidad de diseño del pavimento, constituyendo un riesgo muy considerable en la seguridad del tránsito.

Actualmente se realizan ciertos procesos de rehabilitación de pavimentos sin establecer las causas que pudieron haber producido el daño. Muchas veces son realizados de manera empírica o con malas técnicas constructivas. Estos procesos de reparación, además de poder ocasionar otros daños a las losas vecinas, tienen como consecuencia la reaparición del deterioro en un período corto de tiempo, por tanto se hará necesaria una reinversión en reparaciones no considerada.

Este trabajo consiste en establecer una serie de procesos que permitan la corrección del daño presentado en el pavimento, evitando su propagación y reincidencia, según el tipo de deterioro presentado y su nivel de severidad.

1. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

1.1. Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes (libro azul de caminos)

Normas generales utilizadas en Guatemala como medio para legislar o normar los procesos de construcción. Su atribución principal es la de normar de forma general las relaciones entre la Dirección General de Caminos y el contratista. En el contenido del presente documento se hará referencia a determinadas disposiciones o requisitos contenidos en estas normas. Entonces al hacer referencia a una de sus secciones o divisiones, implícitamente se hará referencia a estas especificaciones.

1.2. Pavimento rígido

Un pavimento es una superficie creada artificialmente para dar soporte, estabilidad y solidez al suelo. Los pavimentos, desde sus orígenes, han sido utilizados como medio de comunicación entre ciudades, para transporte de diversos elementos y en tiempos más recientes para la circulación de vehículos motorizados.

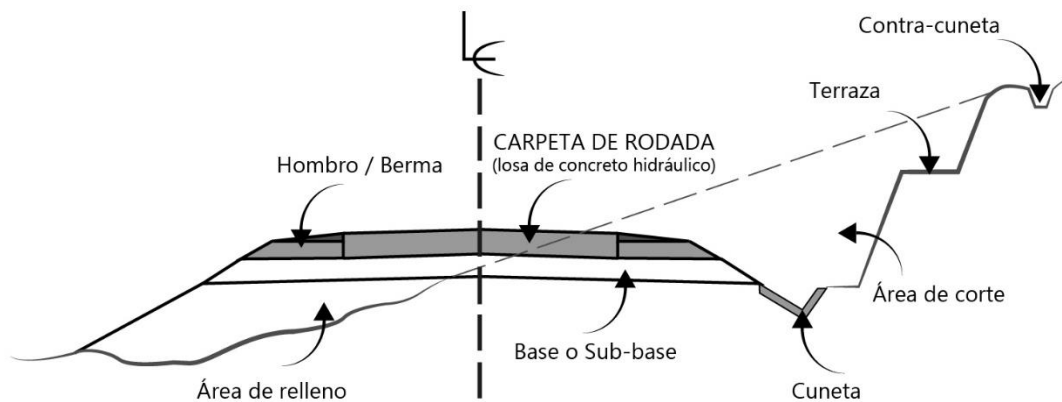
La ingeniería civil hace uso, en la mayoría de proyectos viales, de dos tipos de pavimentos. El primero y más utilizado es el pavimento flexible, elaborado a base de concreto asfáltico. El segundo es el pavimento rígido, elaborado a base de concreto hidráulico. La causa principal del mayor uso del pavimento flexible radica en que durante mucho tiempo se ha estimado que los costos que representa la ejecución de un pavimento rígido son mucho mayores a los del

pavimento flexible, así también debido a los relativamente bajos costos del material asfáltico. De la misma manera la desinformación sobre el diseño y ejecución de pavimentos de concreto hidráulico, constituye otro factor para el poco uso de este tipo de pavimento.

1.2.1. Definición

Un pavimento rígido es básicamente una losa de concreto de cemento hidráulico, con o sin refuerzo, apoyada sobre una capa de material seleccionado denominado base o sub-base (ver figura 1). Representa una alternativa viable cuando se dispone de suelos con baja capacidad de soporte o vías con tránsito pesado. Este tipo de pavimento tiene la ventaja de que debido a su alta rigidez los esfuerzos se distribuyen en una amplia sección de la losa, haciendo que los efectos de las zonas débiles en la subrasante tengan poca influencia y el pavimento tenga un comportamiento satisfactorio ante la aplicación de cargas.

Figura 1. **Sección típica de pavimento rígido**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

1.2.2. Pavimentos de concreto simple

Son losas de concreto de cemento hidráulico rectangulares o cuadradas que no presentan refuerzo de acero, por tanto el concreto resiste las tensiones producidas por el tránsito y las variaciones de temperatura y humedad. Según la sección 501.01 estos pavimentos consisten en losas de 3 a 6 metros y pueden ser de dos tipos:

- Pavimento de concreto simple con juntas y sin barras de transferencia: en este tipo de pavimento la transferencia de carga se logra debido a la interacción entre los agregados de las caras agrietadas de las losas. Para lograr este efecto se realiza un corte en la junta (ranurado).
- Pavimento de concreto simple con juntas y con barras de transferencia: este tipo de pavimento se construye con pasadores que consisten en varillas lisas colocadas en la junta de construcción, las cuales tienen la función de transferir la carga a las losas adyacentes (ver figura 2).

1.2.3. Pavimentos de concreto continuamente reforzados

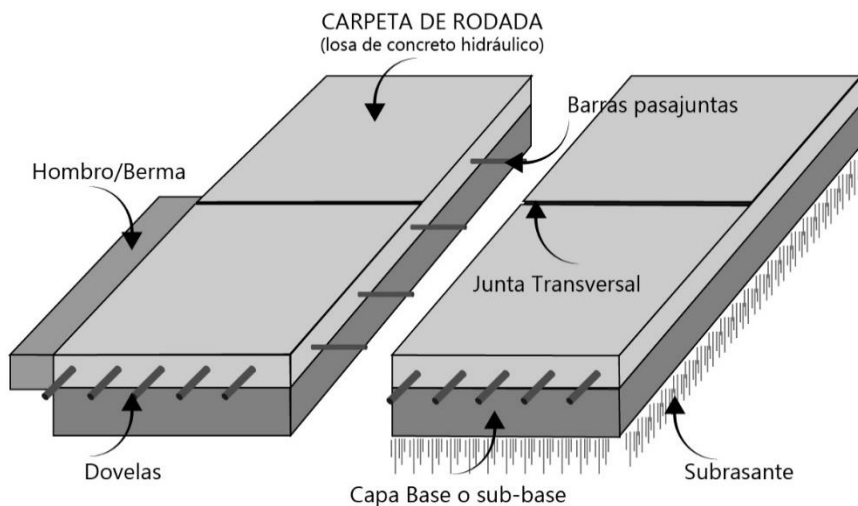
Son losas de concreto de cemento hidráulico con refuerzo continuo en las cuales el acero de refuerzo es el responsable de asumir las deformaciones producidas por cargas, flexión o cambios de temperatura. Un pavimento continuamente reforzado tiene la peculiaridad de no presentar juntas, lo cual es debido a su refuerzo continuo en dirección longitudinal, entonces el agrietamiento se mantiene controlado mediante la acción conjunta del acero de refuerzo y la capa base del pavimento. En este tipo de pavimento se busca que las fisuras se

desarrollen en intervalos cortos y con anchos controlados para evitar el escalonamiento y los efectos del bombeo de finos.

1.2.4. Detalles constructivos

La creación de un pavimento de concreto hidráulico consiste en el proceso de construcción sobre subrasante, sub-base o base preparada de la losa o carpeta de pavimento de acuerdo con los detalles especificados por los planos, establecidos en función de las características generales del sitio, disponibilidad de materiales y las condicionantes de diseño del proyecto en particular. La construcción no se realiza creando tableros individuales, sino franjas continuas de concreto que serán colocadas por medio de pavimentadoras u operaciones con formaleta fija. En cada una de las etapas, que van desde la fabricación del concreto hasta el sellado de juntas, es necesario cuidar que todo proceso sea ejecutado en condiciones óptimas para que la construcción se realice como se ha previsto.

Figura 2. Esquema representativo de un pavimento de concreto



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Fabricación: se refiere al proceso de dosificación de los materiales de la mezcla de concreto de acuerdo a un diseño establecido. El diseño se debe realizar preferiblemente por el método de proporcionamiento por volumen absoluto del ACI, pero también se podrá aplicar otro similar. Para el proceso de fabricación la planta puede estar ubicada en el sitio de obra o se puede hacer uso de plantas externas. Estas plantas deben de tener una capacidad acorde con la velocidad de colocación del concreto en obra, pero es necesario que todo el equipo utilizado para la producción y suministro del concreto esté en condiciones óptimas de servicio y a su vez debe ser inspeccionado y aprobado por un delegado para asegurar la resistencia a compresión del concreto.
- Manejo: comprende las actividades de transporte y vaciado de concreto de manera que se pueda garantizar la colocación continua, para que de esta forma se evite la diferencia significativa en tiempos de fraguado. El concreto deberá ser cargado, transportado y entregado en un lapso de tiempo de hora y media, pero se pueden reducir o aumentar los tiempos según los resultados de ensayos aplicados en campo o el uso de aditivos, siempre y cuando el concreto se coloque satisfactoriamente.

En la descarga se debe tener control sobre consistencia y la temperatura del concreto, esta no debe ser menor de 16°C para estructuras de poco espesor, 10°C para colocaciones masivas de concreto, y no debe ser mayor de 32°C. Además, no debe permitirse la manipulación excesiva del concreto ni el reablandamiento por aumento de la relación agua-cemento, y se deberá garantizar que el concreto posea la trabajabilidad y consistencia adecuadas para permitir su fácil manejo y colocación. El asentamiento debe estar comprendido dentro de los valores que se especifique en los planos o disposiciones especiales.

Tabla I. **Asentamientos recomendados para concretos vibrados en diversos tipos de construcción**

Tipo de estructura	Asentamiento máximo (1)		Asentamiento mínimo	
	mm	pulg	mm	Pulg
Muros de cimentación y cimientos de concreto reforzado	75	3	25	1
Estribos, pilas y otras subestructuras	75	3	25	1
Vigas, columnas, muros de concreto reforzado y secciones delgadas reforzadas	100	4	25	1
Tubos de concreto reforzado	75	3	25	1
Losas de pavimentos	75	3	25	1
Concreto masivo	50	2	25	1

(1) Los valores de esta tabla se podrán incrementar en 25mm (1") cuando se emplee otros métodos de consolidación que no sean basados en vibración.

Fuente: *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Tabla 551-18. 551-32.

- Colocación: consiste en el proceso de descarga de concreto sobre la superficie de la subrasante o sub-base previamente humedecida y utilizando formaletas fijas o deslizantes. Cuando en el área de construcción, antes o después de colocar la formaleta, se producen depresiones causadas por las actividades propias de la construcción, estas deben corregirse antes del colocado del concreto, y la superficie deberá quedar nivelada correspondiendo con la sección típica. En toda construcción el concreto debe ser colocado en horas de luz diurna a menos que se disponga de un sistema adecuado de iluminación.

En la sección 501.08 se especifica que todo el concreto para pavimentos debe ser colocado y terminado por pavimentadoras de concreto deslizante, salvo donde es impráctico o imposible el empleo de este equipo, como en el caso de alcantarillas, banquetas, muros de retención, etc., en cuyo caso se empleará el procedimiento de formaleta fija.

- Compactación: al colocar el concreto este atrapa una cierta cantidad de aire perjudicial para alcanzar su resistencia, entonces se realiza la compactación por vibrado para expulsar la cantidad adecuada de aire y así disminuir la relación de vacíos que evite la formación de ratoneras. Al alcanzar el nivel necesario, según el detalle de la sección típica, el concreto deberá ser compactado por medio de vibradores de superficie, como reglas vibratoras, placas vibratorias o vibradores de rodillos. También pueden usarse vibradores de inmersión como complemento, cuidando que el espaciamiento entre inmersiones esté en el rango de 0,5-0,75 m y que los tiempos no sean prolongados para evitar la segregación del concreto. Los vibradores no deben operar en contacto con las formaletas o acero de refuerzo.
- Acabado: consiste en las operaciones de inspección de superficie, flotado, rebordeo y texturizado, que darán al pavimento las condiciones necesarias para uso. La ejecución del acabado final debe efectuarse antes del endurecimiento, estando el concreto en un estado aún plástico, y debe comprobarse la exactitud de la superficie, ya que las deformaciones se corrigen en estado fresco. Para el acabado del pavimento se emplean dos tipos de texturizado, el microtexturizado y la macrotectura, los cuales se describen de la siguiente forma:

- Microtexturizado: tiene el objetivo de eliminar agua superficial producida por la exudación del concreto, pasando tiras húmedas de lona o brin en el sentido longitudinal de la vía.
- Macrottexturizado: es la operación de generar un ranurado en la superficie del pavimento que tendrá la función de aumentar la adherencia entre los vehículos y la superficie, así como también el facilitar la evacuación del agua superficial. Este puede realizarse transversal o longitudinalmente al sentido de la vía. En zonas pequeñas o irregulares donde no sea posible puede hacerse manualmente con ayuda de rastrillos o escobas adecuadas.
- Curado: el curado es dar al concreto las condiciones óptimas de temperatura y humedad para asegurar su resistencia. Inmediatamente después del proceso de acabado, y tan pronto sea posible sin causar daños a la superficie, se debe curar por alguno de los siguientes métodos: carpetas de algodón, cubiertas húmedas, compuestos líquidos formadores de membrana de curado, membranas impermeables. Esta es una etapa vital en la construcción del pavimento, ya que un descuido representaría pérdidas de hasta el 50 % de la resistencia.
- Remoción de formaleta: la formaleta debe ser removida cuando el concreto haya alcanzado una resistencia suficiente para resistir daños, ya que se podrían producir desportillamientos de las losas al momento de efectuar esta operación. Las formaletas deberán ser removidas en un período de 24 horas después de haber colocado el concreto, a menos que se utilicen aditivos acelerantes, con lo que se podrá reducir este tiempo. Posterior a esto se hace necesaria la protección de los lados de las losas y las capas expuestas de la

estructura del pavimento hasta que sean construidos los hombros según los detalles estructurales.

- Corte de juntas: las juntas tienen como función el separar el pavimento en una serie de losas para controlar la fisuración, promoviendo la conservación del pavimento. Al mismo tiempo se establecen como un mecanismo de transferencia de carga el cual se da gracias a la interacción de los agregados. Estas deben cumplir con los detalles de dimensiones y localizaciones que se indican en los planos. Las juntas normalmente constituyen un corte en la losa a una profundidad de $1/3$ o $1/4$ del espesor de su espesor, con un ancho de 3 a 6 mm, y se realizan antes de cumplirse 24 horas de la colocación del concreto.
- Sellado de juntas: el sellado de juntas tiene como objetivo evitar el ingreso de humedad y elementos incompresibles que no permitan el libre movimiento de las losas, es por esto que las juntas deben ser rellenadas con materiales que tengan la capacidad de deformarse cuando las losas que constituyen el pavimento se muevan y aun así conservar su estado elástico. Siempre que se especifique en los planos deben ser rellenadas y/o selladas con materiales aprobados, esta operación debe efectuarse tanto en juntas longitudinales como transversales y antes de abrir el pavimento al tránsito.

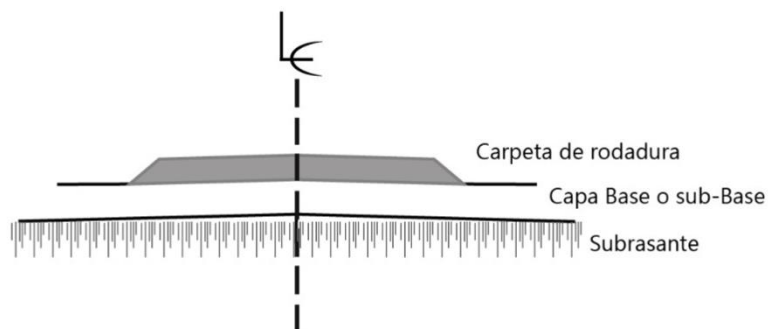
1.2.5. Conformación

Un pavimento rígido está fundamentalmente conformado por una losa de concreto hidráulico apoyada sobre la subrasante o sobre una capa base o sub-base de material seleccionado (ver figura 3). Los factores principales de diseño que influyen en la selección de las capas de la estructura dependen de los niveles

de tránsito, las condiciones de la subrasante, el clima y la disponibilidad de materiales en la zona.

Posteriormente al diseño de las capas que conformarán la estructura, se materializará toda esta información en una sección típica de pavimentación, la cual es una representación en sección transversal que muestra las pendientes, espesores, dimensiones y composición de las capas de la estructura del pavimento.

Figura 3. **Elementos que conforman la estructura de un pavimento rígido**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

1.2.6. Función de las capas del pavimento

La estructura de un pavimento está formada por una serie de capas traspuestas cuyas distintas características influirán en el comportamiento del pavimento como conjunto. Estas trabajarán para soportar las demandas a las cuales será sometido el pavimento para brindar un comportamiento satisfactorio durante el período de diseño contemplado.

1.2.6.1. Subrasante

Es la capa de terreno en corte o terraplén que soporta la estructura de un pavimento y de la cual depende, en gran parte, el espesor que tendrá el pavimento, sea flexible o rígido. En sí, esta capa es el resultado final del conjunto de operaciones que involucran el movimiento de tierras, siendo necesario que esta cumpla con una serie de características como la capacidad de deformación por esfuerzo cortante (capacidad soporte) y no contener materiales altamente plásticos ni orgánicos.

Para la subrasante los materiales adecuados deben ser de preferencia granulares con menos del 3 % de hinchamiento, de acuerdo con el ensayo CBR, y que no tengan características inferiores a los suelos encontrados en el tramo o secciones reacondicionadas que se encuentren en el mismo.

1.2.6.2. Capa base o sub-base

Es la parte de la estructura de un pavimento cuya función es la de servir como capa de transición hacia la subrasante de los efectos de las cargas de tránsito producidos en la superficie del pavimento. En los pavimentos de concreto hidráulico su función más importante es la de impedir el fenómeno de bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Esta capa también cumple otras funciones:

- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Servir de capa de drenaje al pavimento, para reducir la acumulación de agua bajo el pavimento.

La sub-base puede tener un espesor compactado que puede ser variable por tramos, pero en la sección 303.03 se especifica que en ningún caso este espesor puede ser menor que 100 mm ni mayor a 700 mm, además debe poseer un CBR mínimo de 30 con un 95 % de compactación, un índice plástico no mayor de 6, un límite líquido mayor de 25, un equivalente de arena no menor de 25 y estar libre de impurezas y materiales perjudiciales que puedan causar fallas. Los requisitos para la base se encuentran en la división 300. La base se compone generalmente de materiales pétreos con una distribución granulométrica adecuada, libre de material orgánico y materiales altamente plásticos. La base debe conformarse ajustándose a los alineamientos y secciones típicas de pavimentación indicadas en los planos, y compactarse en su totalidad hasta alcanzar el 100 % de la densidad máxima determinada por los ensayos de compactación (AASHTO T-180).

Para trabajar esta capa, base o sub-base, hay varios métodos de construcción, entre estos están la capa granular, capa de grava o piedra triturada, capa obtenida de la recuperación del pavimento existente y capa estabilizada. También se puede hacer uso de la capa de suelo cemento y capa negra, pero en lo que se refiere a este tipo de capas son utilizadas únicamente para la construcción de bases.

1.2.6.3. Carpeta de rodadura

Es la capa de la estructura que constituye la superficie de rodada donde transitan los vehículos, formada por materiales endurecidos como concreto asfáltico o hidráulico. Esta capa tiene como objetivo el proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, transmitir los esfuerzos a las capas inferiores, resistir los efectos de la abrasión ocasionada por el tránsito y cuando se requiera servir

como una superficie impermeable para impedir, en la medida de lo posible, el paso del agua al interior de la estructura.

1.3. Materiales

En la selección de los materiales que conformarán la mezcla de concreto se deben definir criterios determinantes para su selección según sus aspectos técnicos y económicos, considerando así también las cantidades disponibles y las formas de suministro, ya que de la calidad de los materiales dependerá en gran manera que el concreto utilizado en la obra vial alcance una resistencia adecuada según el diseño.

1.3.1. Cemento hidráulico

Es un cemento que fragua, endurece y desarrolla resistencia debido a su reacción química con el agua, tanto al contacto con el aire como en medios acuosos. Su ganancia de resistencia se debe a la contribución del cemento Portland con puzolana, escoria, ceniza volante o caliza. Según la sección 501.03 los cementos para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico deben cumplir con una clase de resistencia de 28Mpa (4000 psi) o mayor, y no deben mezclarse cementos de diferentes tipos o diferentes plantas sin aprobación.

1.3.2. Agregado fino

Es un material pétreo e inerte que pasa por el tamiz No. 4 y está conformado por partículas cuyo tamaño está comprendido entre 2mm y 0,07mm. Según la sección 501.03 este agregado debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, de las cuales se debe controlar sus

características y condiciones por medio de ensayos de laboratorio, para hacer los ajustes necesarios en la dosificación del concreto.

1.3.3. Agregado grueso

Es un material pétreo e inerte retenido en el tamiz No. 4 y superiores, conformado por partículas cuyo tamaño está comprendido entre 76mm y 2mm. El tamaño máximo de agregado a utilizar está en base al tipo de estructura, la separación del refuerzo y la clase del concreto a utilizar. Usualmente se utiliza agregado de 1 1/2 pulgada, que sea en buen porcentaje “caras fracturadas” para aumentar la adherencia. Según la sección 501.03 debe consistir en grava o piedra triturada y llenar los requisitos AASHTO M 80, ASTM C33, desgaste y la limitante de partículas planas y alargadas.

1.3.4. Agua

Es el componente que se combina con el aglomerante con el objetivo de producir una reacción química que desarrolle las propiedades de fraguado y endurecimiento. El agua para mezclado, curado y lavado de agregados de concreto debe ser preferiblemente potable, limpia y libre de concentración de sustancias perjudiciales que afecten la calidad del concreto. Los criterios de aceptación del agua se establecen en la Norma COGUANOR NTG 41073.

1.3.5. Aditivos

Son materiales distintos a los componentes del concreto que se pueden añadir a la mezcla para modificar alguna de sus propiedades o incluir características adicionales. Pueden agregarse antes o después del mezclado pero debe demostrarse que el uso de determinado aditivo no influirá en la

composición y rendimiento del concreto. Algunas de las características generadas por el uso de aditivos son las siguientes:

- Control de los tiempos de fraguado.
- Incremento en las características de fluidez.
- Control en la pérdida de revenimiento.
- Control de la exudación.
- Reducción de la permeabilidad.
- Aumento de la trabajabilidad, sin un incremento en la relación agua-cemento.
- Aumento de resistencia inicial.
- Expansión del concreto.

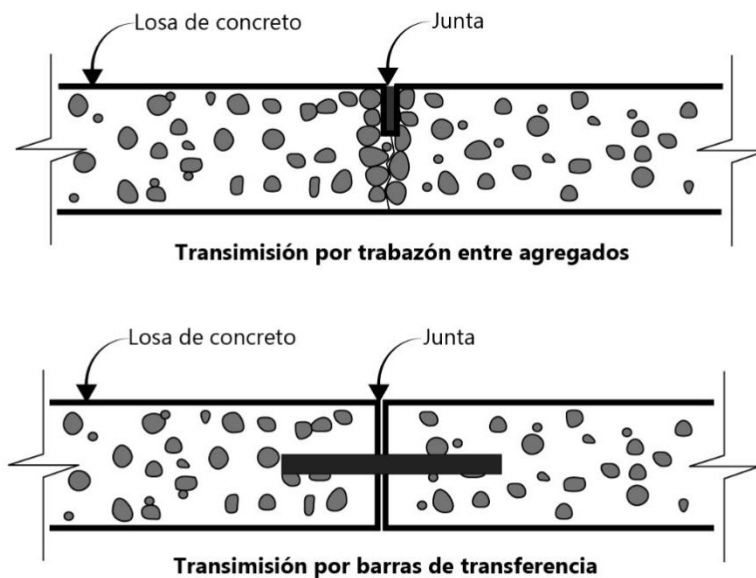
1.3.6. Acero de refuerzo

Son barras, alambre de refuerzo, mallas de barras y mallas de alambre de refuerzo que conformarán parte de la losa del pavimento cuando se requiera el uso de estos elementos en las disposiciones especiales y donde se especifique en los planos que se requiera. El acero en los pavimentos de concreto hidráulico se utiliza como elemento de transmisión de cargas en las juntas longitudinales (pasajuntas), transmisor de cargas en juntas transversales de construcción (dovelas), o como refuerzo interior en el concreto, que es utilizado para controlar los agrietamientos y mantener unidas las secciones agrietadas de las losas. La cantidad de acero a utilizar está en función de la geometría de las losas y este no cumple una función estructural en las losas. El acero de refuerzo debe cumplir con los requisitos establecidos en la sección 502.

1.4. Construcción de juntas

Las juntas son creadas para evitar que el fisuramiento que puede surgir en el pavimento, debido a procesos de elaboración del concreto, cambios de temperatura y problemas con el acabado, se cree de manera desordenada; entonces, por medio de la construcción de juntas, se logrará tener patrones geométricos que delimiten la continuidad de las grietas y de esta manera facilitar el análisis de reparación, considerando al pavimento como una serie de losas que constituyen la superficie. De la misma manera, las juntas también proveen una adecuada transferencia de carga entre losas, ya que, como se explica, las juntas permiten la construcción del pavimento por losas individuales, entonces, con la creación de la junta, se crea una adecuada unión entre las losas que, por la interacción entre agregados, transmitirá la carga siempre y cuando la fisura creada entre las caras de las losas tenga un ancho menor a un milímetro (ver figura 4).

Figura 4. **Mecanismos de transmisión de carga en las juntas**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

Las principales funciones que debe de cumplir una junta son:

- Una localización adecuada, con la cual se tenga el control del agrietamiento potencial.
- Una transmisión adecuada de la carga de las losas, para evitar las fallas por deformaciones excesivas.
- La junta debe ser impermeable para proteger las capas de la estructura del pavimento contra la infiltración del agua.

1.4.1. Tipos de juntas

Las juntas pueden clasificarse según su función y según su alineación respecto al eje central de la vía, además, según la AASHTO, la relación del ancho de la losa con su longitud no debe exceder de 1,25. Los tipos de juntas más comunes encontradas en los pavimentos son las siguientes:

1.4.1.1. Transversales de contracción

Son las juntas construidas perpendicularmente a la línea central de la vía, son espaciadas a manera de controlar los agrietamientos producto de los esfuerzos creados por cambios de volumen del concreto, flexión y cambios de humedad o temperatura. El espaciamiento entre este tipo de juntas debe ser menor que seis metros, aunque se puede calcular una separación entre juntas que controle la fisuración en función del espesor y la carga máxima estática que puede presentarse en la losa. Su profundidad será de 1/4 del espesor de la losa como mínimo.

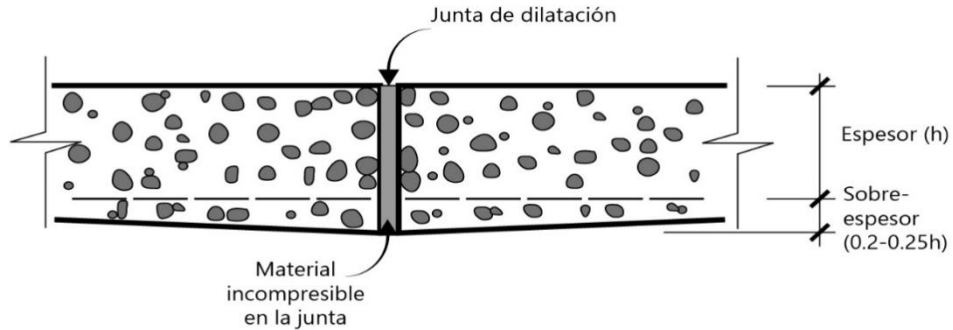
1.4.1.2. Transversales de construcción

Son juntas que se construyen al concluirse las operaciones de pavimentación del día, cuando surgen interrupciones de colocación o cuando hay interrupciones en el suministro de concreto; en general, estas juntas son planificadas y en lo posible deben colocarse en la posición especificada. Las juntas transversales de construcción en condiciones de tráfico pesado o clima severo no se benefician de la trabazón producida por los agregados del concreto a manera de transmisión de carga, entonces complementan la trabazón entre agregados con el uso de dovelas que servirán como dispositivos transmisores de carga. Estas juntas tendrán un ancho de 3 mm, su posición deberá ser perpendicular a la línea central y no podrán ser esviadas.

1.4.1.3. Juntas de expansión

Son las juntas que se utilizan para localizaciones que permitan el libre movimiento del pavimento sin dañar estructuras cercanas como alcantarillas o puentes. También se colocan en intersecciones de calles. Tendrán un ancho de 19 mm a 25 mm (3/4" a 1"). En este tipo de juntas se deberá colocar un material compresible que llene el vacío desde la superficie de la sub-base hasta una altura tal que permita que haya una diferencia de 25 mm (1") entre el material compresible y la superficie de rodada, el cual deberá sellarse. Cuando se determina que este tipo de juntas estarán sometidas a la acción del tránsito, se les debe proveer de pasadores que reduzcan la falta de transferencia de carga en ellas. Otra alternativa para solucionar la falta de transferencia de carga es la de aumentar el espesor de las losas que conformarán la junta en el 20 a 25 % (ver figura 5). Esto se puede alcanzar trabajando la losa con una pendiente que permita alcanzar el aumento en espesor de la losa en la parte más crítica.

Figura 5. **Aumento de espesor de losas en junta de expansión**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

1.4.1.4. Longitudinales de contracción

Estas juntas son construidas para controlar el agrietamiento de manera longitudinal. Deberán ser espaciadas paralelamente a la línea central para coincidir con las líneas de los carriles, teniendo de 2,75 a 3,6 metros de espaciamiento, evitando que la separación entre juntas de este tipo sea mayor a 4 metros.

1.4.1.5. Longitudinales de construcción

Son las juntas que unen carriles adyacentes cuando estos son pavimentados en diferentes etapas. La transmisión de cargas se puede realizar por medio del engrape entre agregados, aunque es muy usual colocar barras de transferencia llamadas barras pasajuntas, estas barras se insertarán martillándolas dentro de una serie de agujeros predispuestos en la formaleta antes de las 24 horas de la colocación del concreto.

1.4.1.6. Juntas en ángulo (esviajadas)

Son juntas que se encuentran inclinadas respecto a la línea central del pavimento. El ángulo de esviaje se encuentra comúnmente entre 80 y 100°, en este tipo de juntas se busca que la inclinación permita que el neumático izquierdo cruce primero la junta que el derecho, a manera de reducir la carga dinámica a través de la junta y eliminar la carga simultánea de los neumáticos.

1.4.2. Materiales para juntas

Los materiales para relleno y/o sellado de juntas deben ser especificados en los planos o en las disposiciones especiales del proyecto. Las juntas deben ser trabajadas con materiales aprobados, los cuales deben cumplir con lo estipulado en la sección 551.06. Todo material empleado para el sellado de juntas debe poseer las siguientes características:

- Alta durabilidad
- Garantizar la hermeticidad del espacio sellado
- Garantizar la adherencia a las caras de la junta
- Evitar la entrada de agua
- Evitar la penetración de objetos extraños
- Porcentajes de elongación requeridos

1.4.3. Formación de juntas

La construcción de juntas es uno de los aspectos fundamentales que determinarán un comportamiento correcto del pavimento, por lo cual se hace necesario realizar un buen diseño de la disposición de juntas y una correcta ejecución en obra de las mismas, así se determinará un comportamiento

adecuado en cuanto a lo referido al agrietamiento, producto de los esfuerzos de tensión provocados por los cambios volumétricos en el concreto y la transmisión de cargas de tránsito. La disposición de las juntas se basa en distribuciones recomendables de las losas, evitando en lo posible distribuciones muy alargadas, debido a que son más propensas a la flexión. Preferiblemente se deberá usar una distribución de losas lo más cuadrada posible; así mismo, se debe tener en cuenta para su diseño la presencia de elementos rígidos, anchos de carril, ángulos mínimos, continuidad de las juntas, entre otros. La ejecución de las juntas depende fundamentalmente del tipo de junta que se esté trabajando, sean estas de construcción, contracción o expansión, ya que según su posición y función dentro de la configuración del pavimento, estas juntas se podrán conformar en el concreto en estado fresco o endurecido.

1.4.3.1. Por inserción de tiras o fajas premoldeadas

Consiste en la creación de juntas una vez vibrado y enrasado el concreto, insertando materiales premoldeados no metálicos con la ayuda de equipo mecánico vibrador, para facilitar la inserción del elemento además de garantizar la verticalidad y alineación del mismo (ver figura 6). Uno de los requerimientos de los cuales se debe cuidar en la construcción de este tipo de juntas es que el borde superior del elemento premoldeado esté de 2mm a 4 mm de la superficie del concreto. Comúnmente el tipo de juntas ejecutadas por este método son las juntas de contracción, tanto transversales como longitudinales. En el caso de las juntas de dilatación, su construcción se realiza colocando un elemento compresible en todo el espesor de la losa, asegurándolo para que no se produzca movimiento antes ni durante la colocación del concreto.

Figura 6. **Junta longitudinal formada por inserción de una banda de espuma de etileno acetato de vinilo**

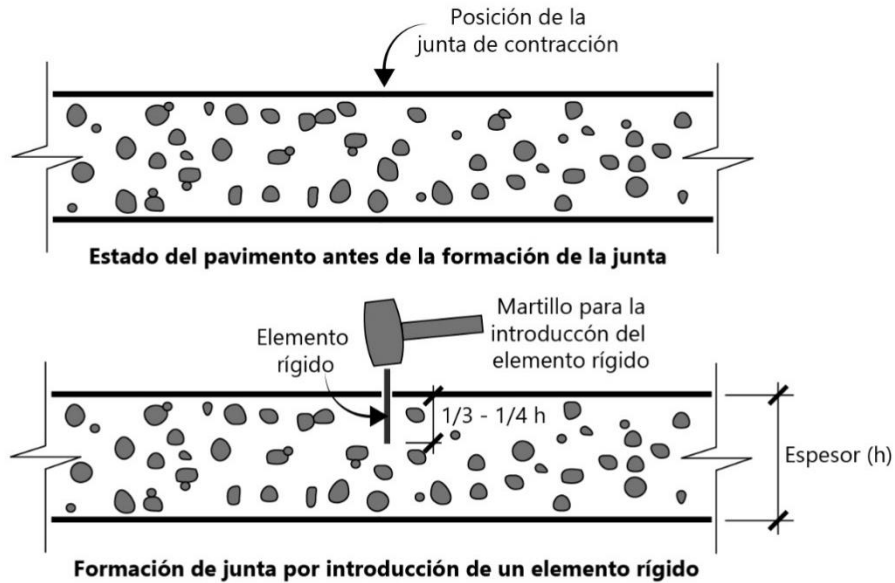


Fuente: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. *Diseño y ejecución de juntas en pavimentos y soleras de hormigón*. P. 7.

1.4.3.2. Juntas inducidas en el concreto fresco

Este tipo de juntas se crea mediante la introducción de una cuchilla de unos 8 mm de ancho que crea un surco, libre y sin obstrucciones, en el concreto fresco, a una profundidad de una tercera parte del espesor del pavimento (ver figura 7). Al crear la ranura es importante colocar un elemento, rígido o flexible, dentro de ella, para evitar que esta se cierre debido a los cambios volumétricos que sufre el concreto al fraguar, así también, se puede cambiar el método de ejecución de junta, ya sea por introducción de tiras metálicas o plásticas, o por serrado con cortadora metálica.

Figura 7. **Junta de contracción formada en concreto fresco**

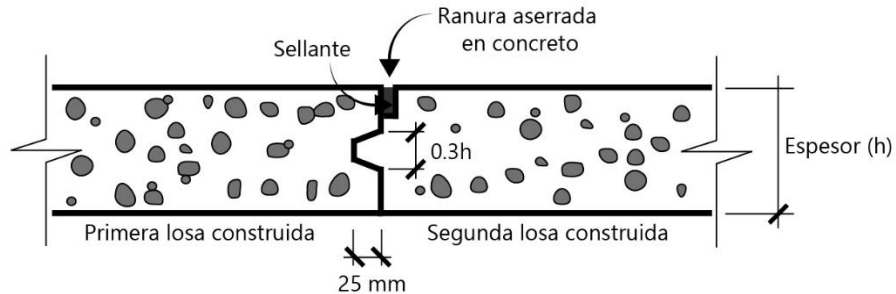


Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

1.4.3.3. **Juntas conformadas con formaleta**

Se realizan de esta manera las juntas de construcción, en su mayoría transversales, y las juntas de expansión. Este tipo de junta se ejecuta normalmente con la ayuda de un elemento para contener el concreto, el cual debe poseer las perforaciones necesarias para colocar las barras de transferencia especificadas en el diseño. Para el desarrollo de las juntas longitudinales de construcción no realizadas con formaleta deslizante se utiliza una formaleta machihembrada que provea una llave de transferencia de carga entre losas (ver figura 8).

Figura 8. **Junta por formaleta machihembrada**

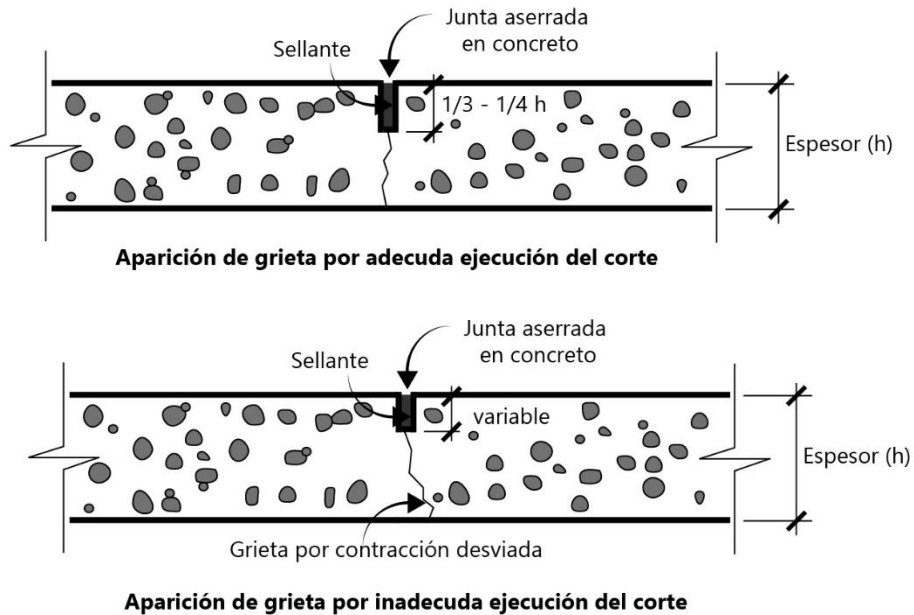


Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

1.4.3.4. **Juntas aserradas en el concreto endurecido**

Este método se utiliza para formar juntas en el pavimento, cuyas dimensiones de ancho, profundidad, alineación y separación serán especificadas en los planos. El trabajo consiste en la introducción de una sierra con discos de diamante u otro material resistente capaz de producir un corte limpio y recto, que produzca una ranura que debe poseer una profundidad comprendida entre $1/3$ y $1/4$ del espesor de la losa. Si se corta menos de lo requerido se puede dar la situación de que la grieta, producida por los movimientos debido a los cambios de temperatura que sufre el concreto, se desplace y quede en una posición distinta a la de la junta (ver figura 9).

Figura 9. **Formación de grieta por contracción por corte de sierra**

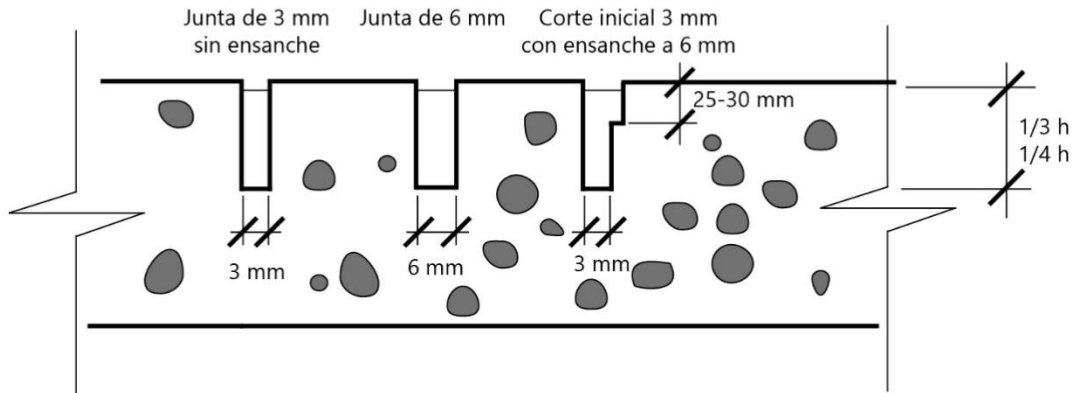


Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

El corte debe hacerse en el momento que el concreto se encuentre lo suficientemente endurecido para evitar desportillamientos o roturas, pero al mismo tiempo no se hayan generado grietas por contracción. El tiempo para realizar el corte varía de 4 a 24 horas después de la colocación del concreto, sin importar si es de día o noche. Para el sellado de este tipo de juntas normalmente se realiza un ensanche de la ranura para formar la caja del sello (ver figura 10).

Si antes de realizar el corte el concreto se agrieta en la ubicación definida para la junta, no deberá aserrarse el concreto en ese lugar, sino que deberá correrse la ubicación de la junta. Si las condiciones no permiten por ningún motivo el corte, debido al agrietamiento irregular, deberá utilizarse otro método para la creación de juntas.

Figura 10. Tipos de corte en juntas



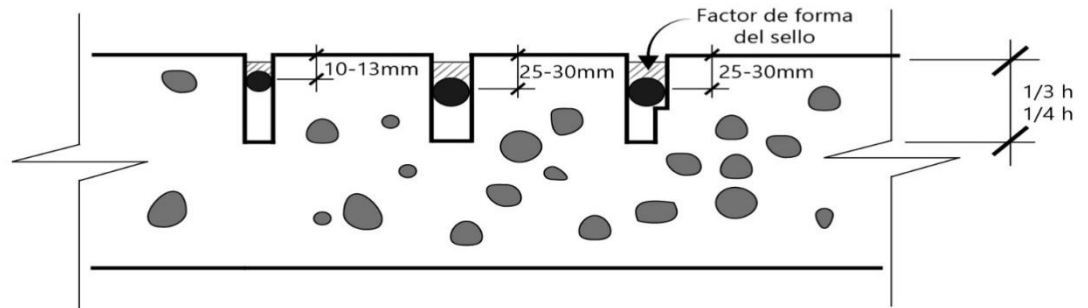
Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

1.4.4. Relleno y sellado de juntas

Las juntas, sin importar su tipo y según se indique en los planos, deben ser rellenadas y selladas (ver figura 11), aunque se recomienda el sellado de todas las juntas tanto longitudinales como transversales. Esta operación debe realizarse antes de abrir el pavimento al tránsito, incluyendo los vehículos de construcción. Según sea el tipo de junta en el pavimento, así será el tipo de procedimiento a ejecutar, ya que lo referido a las juntas producidas por inserción y las conformadas por formaleta solo requieren del material sellante; en cuanto a las juntas ejecutadas con sierra, requieren de un ensanchamiento del corte (ver figura 10), el cual deberá realizarse hasta pasadas 72 horas después de la colocación del concreto. Este servirá para la conformación de la caja para introducir el material de relleno y el material sellante en la junta.

Es necesario que, antes de aplicar el material del relleno o sello, la junta esté limpia, seca y libre de cualquier material perjudicial. Este proceso se realiza con aire a presión. La presión a la cual debe de ser aplicado el aire debe ser mayor de 0,63 Mpa (90 psi), según la sección 501.14.

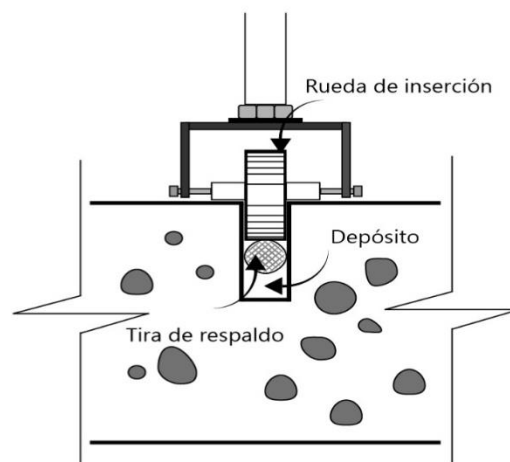
Figura 11. **Sellado en juntas**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

Para el relleno se utilizará un cordón o tira de respaldo, preferiblemente de tipo plástico. Este será instalado (ver figura 12) cuando la junta se encuentre limpia y seca. Este elemento tiene la función de evitar que el sellante fluya hacia la sub-base y se pierda la trabazón de los agregados entre las losas, y la de conformar el factor de forma del sello, relación alto-ancho, (ver figura 11). El tamaño de la tira de respaldo depende de la geometría de la caja conformada por el ensanchamiento del corte, pero se debe procurar que este elemento entre a presión con aproximadamente un 25% de deformación.

Figura 12. **Inserción de la tira de respaldo para relleno de juntas**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

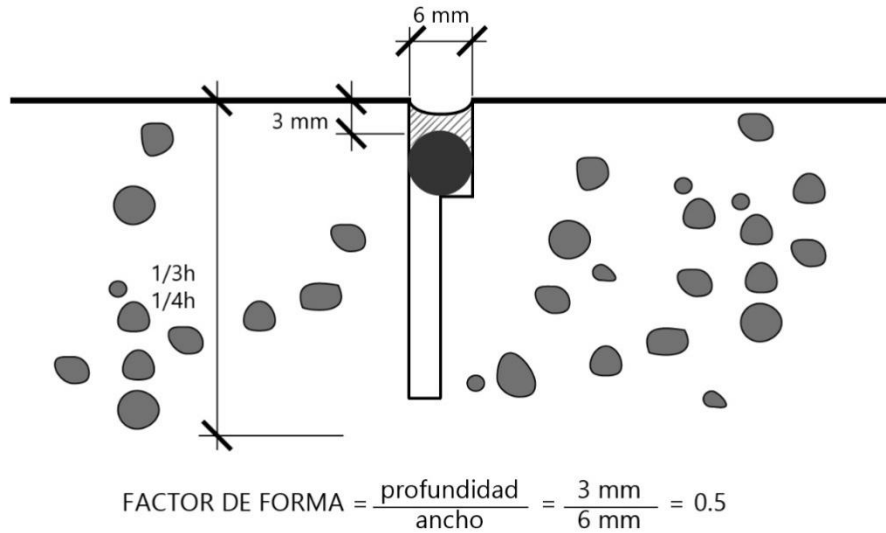
El sellado de las juntas tiene como función evitar el ingreso de humedad, evitando así la erosión de las capas del pavimento y el bombeo de finos, así como el ingreso de elementos no compresibles en la junta. Para el sello se pueden emplear tres distintos tipos de sellantes que, en términos generales, son:

- Selladores aplicados en caliente
- Selladores aplicados en frío
- Selladores premoldeados

El uso de determinado tipo de sellador depende del tipo de junta. Para juntas de expansión no hay restricción en cuanto al tipo de sellador a utilizar y para las juntas de construcción y contracción generalmente se utilizan los selladores en caliente y en frío.

- Factor de forma del sello en juntas: de forma sencilla puede definirse al factor de forma del sello como la relación entre la profundidad y el ancho del sello vertido sobre la tira de respaldo (ver figura 13). Dependiendo del tipo de sellante, se recomiendan factores de forma de 1 para selladores en caliente y 0,5 para selladores en frío. Esto se hace con el propósito de evitar el desarrollo de esfuerzos internos de tensión en el sello y la pérdida de la adherencia producida por la abertura de la junta.

Figura 13. Factor de forma del sello



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

Para los distintos tipos de sellos, la PCA recomienda las siguientes dimensiones de la caja para el sello en juntas:

Tabla II. Dimensiones de caja para sellos aplicados en campo

Espaciamiento de la junta (m)	Ancho de la caja (cm)	Profundidad de la caja (cm)
5	0,64	1,27
6	0,95	1,27
9	1,27	1,27
12	1,60	1,60

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. P. 85.

Tabla III. **Dimensiones del sello y de la caja receptora para sellos premoldeados**

Espaciamiento de las juntas (m)	Ancho de la junta (cm)	Ancho de sello (cm)
6 o menor	0,65	1,12
9,2	0,95	1,60
12,2	1,12	1,905
15,3	1,27	2,23

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. P. 85.

1.4.4.1. Selladores en frío

Son sellos compuestos de silicona polimérica de acuerdo con ASTM C 920. Estos, gracias a su facilidad de aplicación y su buena duración, de entre 8 a 10 años, son el tipo de sellante más utilizado. Se sugiere que este tipo de sellantes tengan deformaciones en campo inferiores al 50 % del ancho de la caja del sello.

Su colocación se hace a temperatura ambiente y preferiblemente en el momento del día en el que se estima que la junta esté en el intermedio de su movimiento esperado. Es necesaria la limpieza y secado de la caja antes de la colocación, ya que cualquier contaminante producirá una disminución en la adherencia entre las paredes de la caja y el sellante, produciendo un deterioro bastante acelerado. Posteriormente a su colocación se debe limpiar inmediatamente cualquier exceso de material, para abrir el tránsito tan pronto el sellante se endurezca.

1.4.4.2. Selladores en caliente

Este tipo de sellante se utiliza comúnmente en pavimentos de bajo tránsito. Su duración está entre 3 y 5 años. Se sugiere que este tipo de sellante tenga una deformación menor del 20 % del ancho de la caja del sello. El equipo calentador para el sellador será tipo baño de María, según se especifica en la sección 501.14, y se debe verificar que no se produzca sobrecalentamiento, ya que esto implica que el sellante perderá sus propiedades elastoméricas, ni enfriamiento del material, que afectará la adherencia. Al igual que los sellantes en frío, se debe cuidar que la caja de sello se encuentre limpia y, después de aplicar el material, se debe limpiar cualquier exceso y la apertura del tránsito se podrá hacer cuando el sellador se enfríe. Es importante que este tipo de sellante no puede ser colocado a una temperatura ambiente menor de 10° C.

Para este sellante se utiliza comúnmente algún producto asfáltico. La sección 551.06 considera los siguientes tipos:

- Sellador vertido en caliente tipo elástico, ASTM D 1190.
- Sellador vertido en caliente para juntas en pavimentos de concreto y de asfalto, ASTM D 3405.
- Sellador vertido en caliente tipo elastomérico para juntas en pavimentos de concreto, ASTM D 3406.
- Sellador vertido en caliente para grietas en pavimentos de concreto y asfalto, ASTM D 5078.

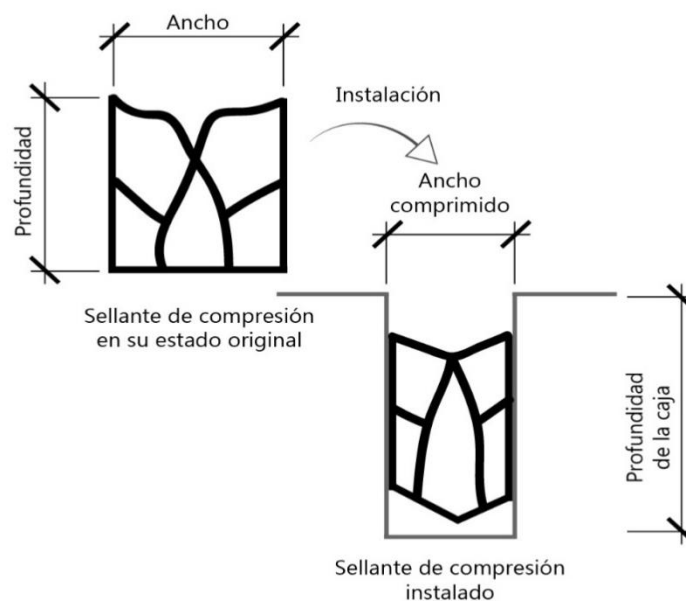
1.4.4.3. Selladores premoldeados

Es un tipo de sellante que actúa únicamente a compresión. Básicamente tiene la misma función que los otros sellantes, que es la de proteger la junta

contra el ingreso de humedad y material extraño no compresible. Los valores de compresión, en este tipo de sello ya instalado, se sugiere que estén entre el 20 % al 50 % de su ancho nominal. Este tipo de sellos debe ser instalado con la ayuda de un lubricante adhesivo que cubra ambos lados de la ranura de la junta, para posteriormente introducir el sello que debe quedar aproximadamente a 6 mm debajo de la superficie del pavimento (ver figura 14). En la sección 551.06 se consideran los siguientes tipos de sellos premoldeados:

- Sellos premoldeados elastoméricos de policloropreno para juntas en pavimentos de concreto, ASTM D 2628.
- Sellos premoldeados elastoméricos de policloropreno para puentes de concreto, ASTM D 3542.
- Relleno premoldeado de espuma de poliestireno expandido, con una resistencia a compresión no menor de 70 KPa.

Figura 14. **Sellos de compresión premoldeados**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

2. TIPOS DE FALLAS

Se le denomina falla a las distintas alteraciones presentes en la estructura del pavimento producto de diversas situaciones, naturales o mecánicas, dadas durante los períodos de construcción y uso del mismo. En su mayor parte las fallas se localizan en las losas que conforman la rasante del pavimento. Estas alteraciones traerán consigo un deterioro progresivo de la estructura, lo que provocará una disminución en la seguridad, comodidad y velocidad de circulación.

Otro factor importante que se ve afectado por la presencia de fallas en un pavimento es el de la durabilidad. Como bien se conoce, un pavimento se diseña para que su uso sea efectivo durante determinado número de años, a lo cual se le conoce como período de diseño. En pavimentos se recomienda que el período de diseño sea mayor o igual a 20 años. La presencia de fallas puede provocar que el pavimento no cumpla con la vida útil propuesta en el diseño. Sus causas de formación son diversas y pueden destacarse las siguientes:

- Deficiencias durante el proceso de construcción, como en la elaboración del concreto, calidad de los materiales, espesores menores a los de diseño, construcción de la subestructura, formación y sellado de juntas.
- Deficiencias en los procesos de curado y acabado de la superficie.
- Problemas al momento de retirar la formaleta.
- Cambios en la frecuencia y magnitud de las cargas con respecto a las contempladas en el diseño.

- Diseño deficiente del pavimento haciendo empleo de métodos inadecuados, una incorrecta consideración del tránsito de diseño, etc.
- Factores climáticos regionales desfavorables.
- Insuficiencia de drenaje superficial.
- Deficiente mantenimiento por escasez de recursos económicos disponibles, equipo, maquinaria especializada y personal capacitado.

2.1. Daños por construcción

En la construcción de un pavimento, como en todo proceso constructivo, se dan situaciones fuera de cualquier planificación y supervisión que pueden causar problemas durante su ejecución. Estos problemas afectarán el proceso de construcción de la estructura desarrollando fallas tempranas en el pavimento, las cuales se presentan sin haber habilitado el pavimento al tránsito, y demostrará en la superficie una serie de alteraciones que implicarán una reparación a temprana edad y, de no aplicar este proceso correctivo, las fallas podrían agravarse cuando el pavimento sea habilitado.

Por tanto, se hace indispensable un buen control en todo lo que respecta a la construcción del pavimento, es decir: equipo, herramienta, materiales, personal y proceso constructivo, esto con el afán de disminuir en lo posible cualquier situación que pueda tener como consecuencia cualquier tipo de alteración, no solo en la superficie del pavimento sino en toda su estructura.

- Bases: en la construcción del pavimento es importante prestar atención a la reparación y readecuación del suelo donde será apoyada la estructura del pavimento (subrasante), así como también a la conformación de las capas que proveerán un soporte adecuado y facilidad de drenaje a la carpeta de rodada.

Es importante mencionar, en el contexto de la conformación de la base para pavimentos de concreto hidráulico, que un aumento en su espesor no implica necesariamente un aumento en la capacidad de soporte y que, al utilizar bases muy rígidas, será necesario reducir la modulación para evitar el fisuramiento. El no tener en consideración estos aspectos podría ser perjudicial para la estructura presentando fallas posteriores. Una base inadecuada ocasionará problemas de incapacidad de soporte de las cargas de tránsito. Según el tipo de base, las causas posibles de presencia de fallas pueden ser diversas:

- Base granular
 - Graduación incorrecta del material
 - Presencia de material con impurezas u orgánico.
 - Falta de humedad al momento de densificar
 - Espesores fuera de los recomendados por el diseño
 - Mala colocación y tendido del material
- Base de suelo-cemento
 - Distribución no uniforme y cantidad necesaria de cemento sobre el material.
 - Tendido de material no uniforme o que se produzca segregación.
 - Mal control en los tiempos de mezclado, tendido y compactación.

- No cumplir con la compactación especificada en el diseño.
- Base bituminosa (capa base negra)
 - Graduación y composición incorrecta del material.
 - Espesores y anchos no uniformes en la capa.
 - Temperaturas de calentado y secado fuera de las tolerancias permitidas.
 - No cumplir con la compactación especificada en el diseño.
- Concreto: en este tipo de pavimento el concreto cumple una función fundamental, ya que de la calidad de este depende en gran manera la capacidad estructural del pavimento. Una mala elaboración, colocación y compactación del concreto representará problemas en el funcionamiento de la estructura.
 - Elaboración: problemas en la elaboración del concreto traerán consigo baja resistencia y mala trabajabilidad, esto implica un retraso en los tiempos de ejecución y un aumento en el costo. Las causas de este problema son las siguientes:
 - Falta de control en el proceso de fabricación del concreto
 - Mala relación agua-cemento
 - Mal control en tiempos mínimos de mezclado
 - Colocación: una mala colocación del concreto provocará un mal control en los espesores de diseño, segregación y desplomes de concreto. Las causas de este problema son las siguientes:
 - Una base mal colocada fuera de especificación.

- La vibración que produce el equipo de colocación de la carpeta.
 - Tiempo de colocación.
- Compactación: este paso es importante debido a que, al no ser correctamente compactado el concreto, se producirá una pérdida en las características de resistencia y desgaste deseadas. Las causas de este problema son las siguientes:
 - Un mal control en los tiempos de vibración, que provocará segregación y contenido de aire en exceso.
 - Revenimientos mayores a los requeridos por el diseño.
- Formaleta: un mal diseño de formaleta, en conjunto con la ausencia de supervisión, puede provocar daños a la estructura, como desmoronamientos de material, deformaciones fuera de los límites establecidos y pérdidas de material al momento de su remoción. De la misma forma, es importante que al momento de retirar la formaleta se aplique en los lados el mismo método de curado que se le dio a la superficie, para evitar la pérdida de humedad y que se protejan las capas expuestas de la estructura del pavimento contra la erosión. Las formaletas deben cumplir con las características siguientes para evitar daños al ser utilizadas en la ejecución del pavimento:
 - Deben ser rectas sin torceduras.
 - Poseer una altura igual al espesor de la losa.
 - Resistir los cambios por presión de concreto, vibración y deformación por cambios de temperatura.

- Acabado superficial: al terminar las labores de colocación del concreto se deberá acabar la superficie eliminando las depresiones y partes altas, mayores a 3 mm, que se formen en la superficie. Posteriormente se realizará el texturizado que servirá para crear una superficie antiderrapante. Se deben seguir las siguientes recomendaciones para evitar problemas de fisuramiento en la superficie:
 - Realizar las operaciones de acabado y texturizado antes de que aparezca en la superficie el agua por sangrado.
 - Las operaciones de acabado y texturizado no deberán retrasar el curado.
 - Evitar el cepillado en zona de juntas transversales.
 - Evitar el traslape en el cepillado.

- Protección y curado: estos aspectos son fundamentales en la ejecución de un pavimento de concreto hidráulico. Con estos procesos se garantiza el desarrollo de la resistencia del concreto, se evita el fisuramiento aleatorio y se protege la superficie de las diferentes condiciones ambientales que representen un riesgo para la estructura. Un descuido en esta etapa puede provocar que el concreto pierda hasta un 50 % de su resistencia, por lo tanto, nunca se deberá subestimar la necesidad de curar el concreto. Y para evitar problemas posteriores se ha de tener en consideración lo siguiente:
 - Aplicar los métodos de curado cuando no se corra el riesgo de dañar la superficie y, de preferencia, con equipo mecánico.
 - Iniciar el curado al momento de terminar el acabado de la superficie del pavimento.
 - Contemplar el monitoreo de las condiciones ambientales para elegir el método de curado.

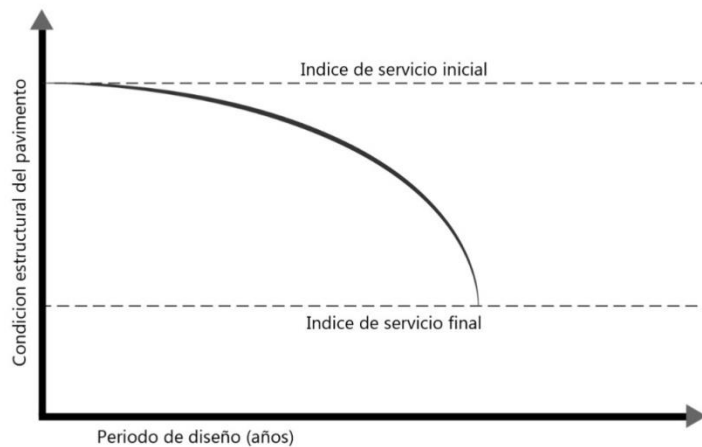
- Contemplar el uso de cubiertas de protección.
 - Restituir la película de curado en las zonas donde se manifiesten roturas.
 - Evitar el tránsito vehicular y peatonal por al menos 7 días después de la aplicación de una membrana de curado.
- Juntas: la construcción de juntas debe realizarse según lo estipulado en los planos de diseño, de no ser así la superficie del pavimento presentará aleatoriamente fisuras en respuesta a los esfuerzos internos que sufre la losa de concreto, y se producirá una serie de fallas no contempladas que representarán problemas en un período posterior, disminuyendo la vida útil del pavimento. Las causas que pueden ocasionar problemas en el pavimento debido a la mala construcción de juntas son las siguientes:
 - Número de juntas y espaciamiento inadecuado que no permiten un comportamiento adecuado del pavimento.
 - Profundidad de corte inadecuado.
 - Corte deficiente de juntas que no permiten que el pavimento se mueva sin restricción lateral.
 - Desniveles entre juntas de construcción.
 - No limpiar las juntas, previo a la aplicación del sellante.
 - Sellado de juntas posterior a la apertura del pavimento al tránsito.
 - Sellado deficiente que permite el fenómeno de bombeo.
- Tránsito de construcción: uno de los errores que se puede cometer durante la construcción del pavimento es el de no considerar en el diseño el tránsito de construcción. La presencia de estos produce fisuras cercanas a las juntas. Es difícil evitar la circulación de los vehículos de construcción sobre las

distintas capas de la estructura del pavimento, sin embargo, debe planificarse la construcción de tal manera que se pueda evitar el tránsito de los vehículos hasta que el pavimento logre una resistencia adecuada, al menos 80 % del módulo de ruptura del concreto.

2.2. Daños por operación

Posterior a la ejecución del pavimento, este entrará en su etapa de servicio, en la cual será sometido al paso repetitivo de vehículos que, tras su paso, irán generando deformaciones y deflexiones que llevarán el concreto hasta su falla (ver figura 15). Así también, el pavimento estará expuesto a lo largo de su vida útil a condiciones que probarán su resistencia, la cual será reflejo de su diseño y proceso constructivo.

Figura 15. Índices de servicio



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

Los daños por operación aparecen por diversas razones, entre estas pueden mencionarse:

- Diseño inadecuado, ya sea por desconocimiento del método de diseño, espesores inadecuados o mala selección de materiales.
- Defectos de construcción.
- Incremento del tránsito.
- Drenaje inadecuado.
- Condiciones climáticas y ambientales adversas.
- Ausencia o deficiencia de mantenimiento.

2.3. Fisuración

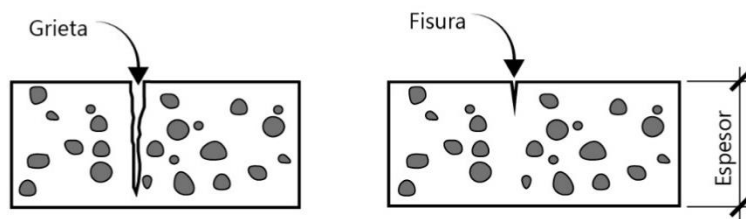
Se define como un daño superficial y de poca profundidad en las losas que forman la carpeta de rodada del pavimento (ver figura 16). Es común su aparición desde temprana edad, sin embargo, en su mayoría, son fisuras por contracción propias del *Portland*, surgidas debido a los cambios volumétricos y de temperatura que sufre el concreto en su etapa de fraguado. Afectan únicamente la superficie de la losa, tienen un ancho inferior a 3 mm y una longitud de entre 20 a 100 cm.

- Causas posibles
 - Contracción plástica del concreto generada durante el fraguado.
- Niveles de severidad
 - Baja: fisuras claramente visibles, no presentan bordes descascarados.
 - Media: fisuras claramente visibles con parte de los descascarados.
 - Alta: la fisura se convierte en grieta y presenta descascaramiento.

2.4. Agrietamiento

Se define como una separación de las losas en dos o más porciones y se extiende desde una profundidad considerable hasta la totalidad del espesor de la losa (ver figura 16). En los pavimentos de concreto hidráulico se procura que sea controlado, utilizando el sistema de construcción de juntas que permitirá el desarrollo de grietas de longitud controlada, evitando que estas se extiendan a losas vecinas que forman en conjunto la carpeta de rodada. Las grietas son uno de los problemas más comunes en los pavimentos de concreto hidráulico, son producidas por diversas razones como defectos en las capas de la estructura, mal diseño de mezcla, mal diseño de juntas, curado deficiente, uso de la estructura, etc., por tanto es necesario analizar la severidad del daño producido y proponer la solución adecuada para evitar la extensión del mismo y la generación de otros daños posteriores.

Figura 16. **Diferencia entre grieta y fisura**

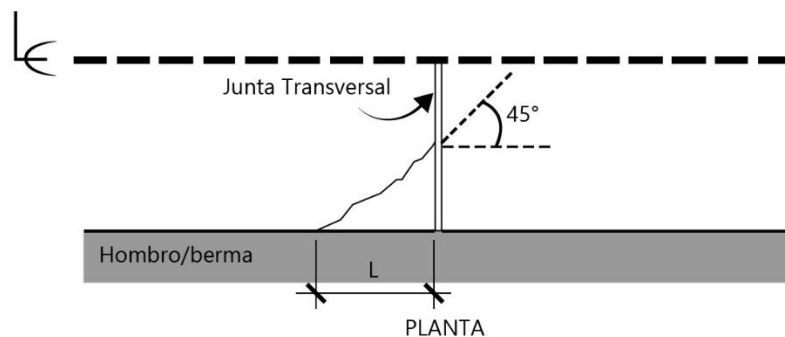


Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

2.4.1. Grieta de esquina

Falla que se denota por una porción de la losa separada por una grieta que intercepta la junta longitudinal y transversal y que forma un ángulo de aproximadamente 45 grados con respecto a la dirección del tránsito (ver figura 17).

Figura 17. Esquema de grieta de esquina



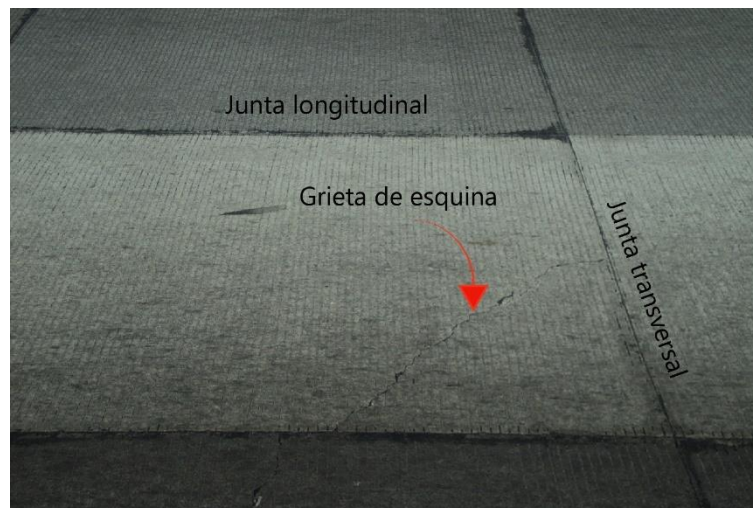
Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas posibles
 - Deficiencia de apoyo en la losa, la cual puede ser originada por pérdida de material de la base debido a la erosión.
 - Sobrecarga en la esquina de la losa.
 - Deficiente transmisión de carga en las juntas longitudinal y transversal.

- Niveles de severidad
 - Baja: longitud con separación menor al 10 % de su longitud; escalonamiento imperceptible y no denota separación del fragmento.

- Media: desportillamientos de severidad baja en más del 10 % de la longitud o separaciones menores de 15 mm. No denota separación del fragmento.
- Alta: desportillamientos de severidad media o alta en más del 10 % de la longitud o separaciones de grieta mayor o igual de 15 mm. El fragmento está separado de la losa y quebrado en dos o más pedazos.

Figura 18. **Grieta en esquina**

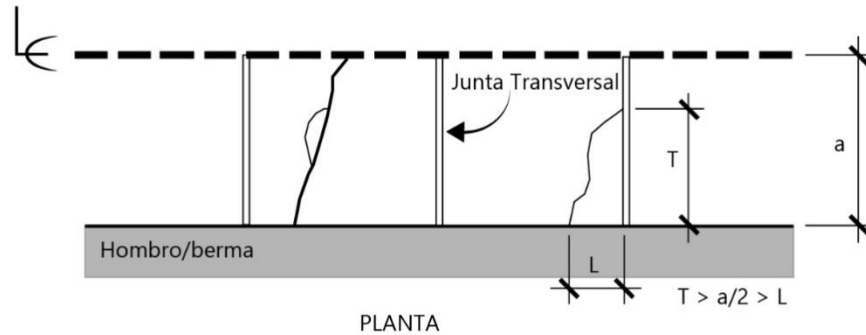


Fuente: Carretera CA-1 Occ. Guatemala, abril de 2016.

2.4.2. **Grieta transversal**

Grietas cuya ubicación se encuentra predominantemente perpendicular a la línea central de la vía. También se les considera transversales a las grietas que parten de una junta transversal hacia el borde del pavimento, siempre y cuando su intersección con la junta esté a una distancia (T) mayor a la mitad del ancho de la losa ($a/2$), y su intersección con el borde se encuentre a una distancia (L) menor a la mitad del ancho de la losa ($a/2$).

Figura 19. **Esquema de grieta transversal**

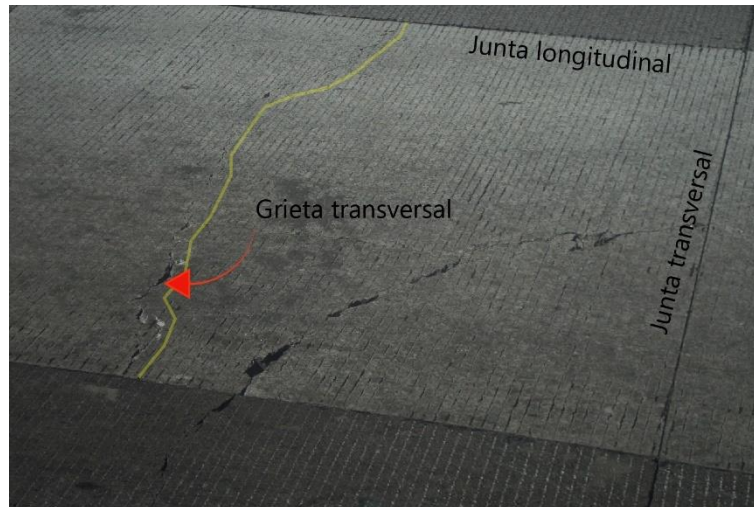


Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas posibles
 - Baja capacidad de soporte en las capas inferiores de la estructura
 - Espesores de losa muy pequeños
 - Losas con longitudes muy grandes
 - Cantidad excesiva de juntas transversales
 - Juntas de contracción cortadas o formadas tardíamente

- Niveles de severidad
 - Baja: ancho menor a 3 mm sin desportillamiento y escalonamiento imperceptible.
 - Media: ancho de grieta en el intervalo de 3 a 6 mm con desportillamiento menor a 50 mm de ancho y escalonamientos menores a 6 mm.
 - Alta: ancho mayor a 6 mm con desportillamiento mayor a 50 mm de ancho y escalonamiento mayor a 6 mm.

Figura 20. **Grieta transversal**

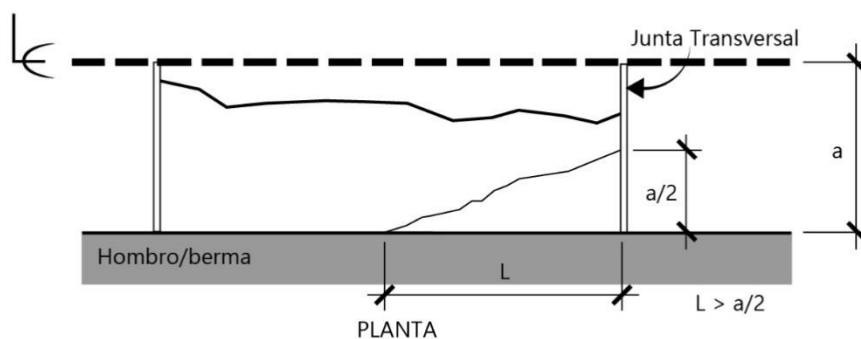


Fuente: Carretera CA-1 Occ. Guatemala, abril de 2016.

2.4.3. **Grieta longitudinal**

Grietas cuya ubicación se encuentra predominantemente paralela a la línea central de la vía. También se le considera grieta longitudinal cuando se extiende desde una junta transversal hasta el borde de la losa, siempre y cuando la distancia de la intersección con el borde de la losa (L) se encuentre a una distancia mayor a la mitad del ancho de la losa ($a/2$).

Figura 21. **Esquema de grieta longitudinal**

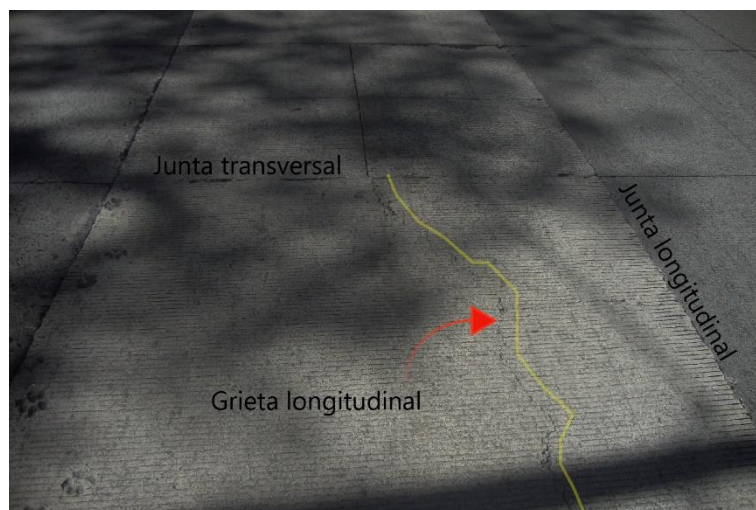


Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas posibles
 - Baja capacidad de soporte en las capas inferiores de la estructura.
 - Losas con anchos muy grandes.
 - Ausencia de la junta longitudinal.
 - Profundidad insuficiente de junta longitudinal.
 - Corte tardío de junta.
 - Errores en la alineación y posición de las barras de transferencia de carga.

- Niveles de severidad
 - Baja: ancho de grieta menor a 3 mm sin desportillamiento y escalonamiento imperceptible.
 - Media: ancho de grieta entre 3 y 10 mm con desportillamiento menor a 50 mm de ancho y escalonamiento menor a 15 mm.
 - Alta: ancho de grieta mayor a 10 mm con desportillamiento mayor a 50 mm de ancho y escalonamiento mayor a 15 mm.

Figura 22. **Grieta longitudinal**



Fuente: Carretera CA-1 Occ. Guatemala, abril de 2016.

2.4.4. Grieta mapeada

Son una serie de grietas que se extienden únicamente en la superficie de la losa, donde las grietas más largas están orientadas frecuentemente en dirección longitudinal y a la misma vez están interconectadas por grietas transversales finas con posición aleatoria.

- Causas posibles
 - Efectos de variaciones climáticas
 - Acabado excesivo del concreto con adición de agua
 - Reacción álcali-sílice de los agregados
 - Curado deficiente

- Niveles de severidad
 - Baja: fisuramiento definido, no presenta descascaramiento de la superficie.
 - Media: fisuramiento definido, presenta descascaramiento en menos del 10 % de la superficie de la losa.
 - Alta: fisuramiento definido, presenta descascaramiento en más del 10 % de la superficie de la losa.

Figura 23. Grieta mapeada

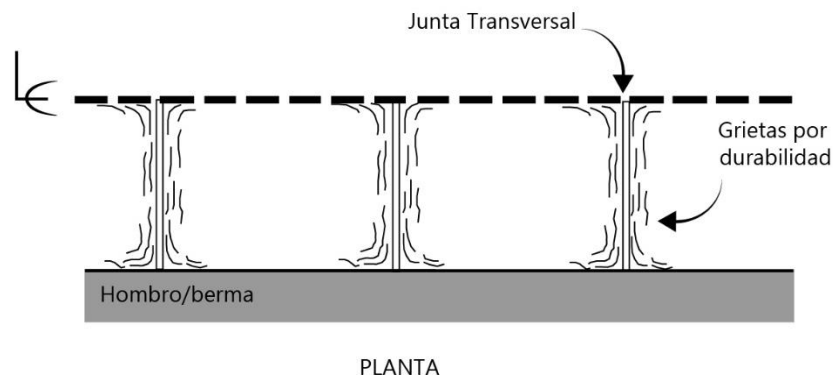


Fuente: Carretera CA-1 Occ. Guatemala, abril de 2016.

2.4.5. Agrietamiento por durabilidad

Es un tipo de agrietamiento formado por grietas finas y cercanas entre ellas, formando una especie de cuarto de luna. Su ubicación se da generalmente en las esquinas de las losas y cercana a las juntas y bordes del pavimento, pudiéndose además observar que la zona agrietada presenta una coloración oscura.

Figura 24. Esquema de grietas por durabilidad



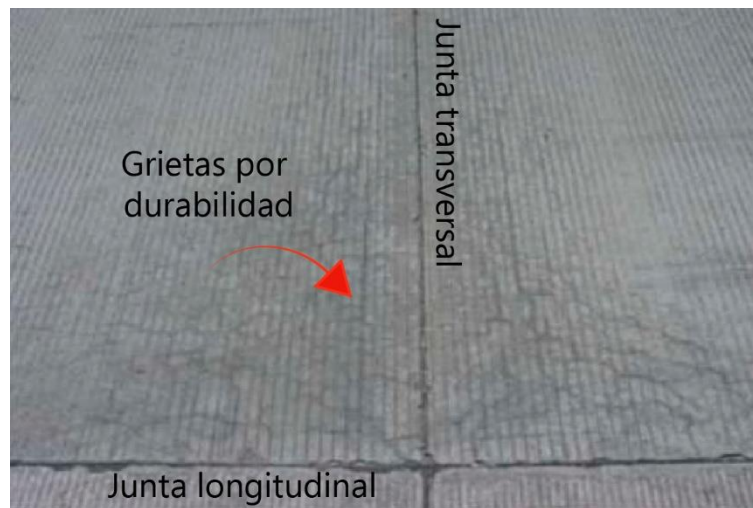
Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas posibles
 - Reactividad álcali-sílice de los agregados, cuando estos se congelan y expanden.
 - Ciclos hielo-deshielo.

- Niveles de severidad
 - Baja: grietas compactas, no presenta segmentos faltantes ni sueltos.
 - Media: agrietamiento definido, presenta pequeños segmentos sueltos en poca cantidad.

- Alta: se presenta un patrón de falla bien desarrollado, presentando una cantidad considerable de segmentos sueltos y faltantes, dejando áreas con faltante de material de hasta 0,1 m².

Figura 25. **Grietas por durabilidad**



Fuente: JARAMILLO, Diego. *Evaluación y patología de pavimentos de concreto* [Presentación].
P. 12.

2.4.6. **Grietas por barras de transmisión desalineadas**

Grietas cercanas a la ubicación de la junta de construcción. Este problema además puede formar grietas longitudinales apreciables.

- Causas posibles
 - Mala ubicación y alineación de los pasadores
 - Restricción del libre movimiento de las losas
- Niveles de severidad
 - Baja: ancho de grietas entre 1 y 10 mm, no es apreciable o no presentan desnivel ni astillamiento.

- Media: ancho de grietas que van desde 11 mm hasta 25 mm, es apreciable un ligero desnivel y astillamiento.
- Alta: ancho de grietas mayores de 25 mm, es apreciable el desnivel y astillamiento presentando partículas atrapadas en la grieta.

Figura 26. **Grietas por barras de transmisión desalineadas**



Fuente: *Lo que no se debe hacer en pavimentos de concreto* [Presentación]. P. 38.

2.5. Daños en las juntas

Son varios los problemas que se pueden presentar en las juntas del pavimento. Un daño en las juntas implica problemas en el buen funcionamiento del mismo. El daño puede ser provocado debido a la pérdida del sello de la junta, permitiendo entrada de partículas y líquidos que podrían dañar las capas de la estructura por debajo de la losa, o debido a una pérdida de transferencia de cargas entre losas provocada por el desportillamiento de las juntas, aumentando la deflexiones y la posibilidad de una falla en las losas que componen la superficie. Desde un principio las juntas deberán ser diseñadas y ejecutadas a manera de evitar problemas de protección y eficiencia en la transferencia de

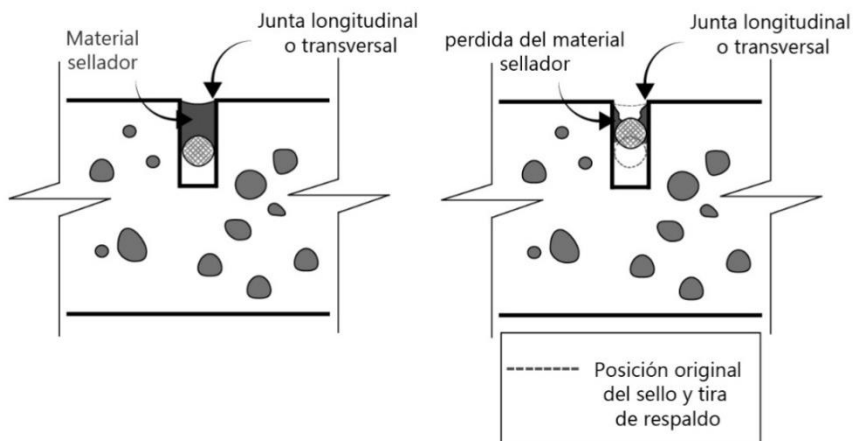
carga, para que de esta manera se evite la formación de otros daños que implicarían reparaciones de mayor magnitud y un alto gasto económico.

2.5.1. Pérdida del sello en junta longitudinal y transversal

Daño que se caracteriza por un deterioro en el sello de la junta que permite la incrustación de partículas incompresibles y la infiltración de agua. Se le considera como deterioro a cualquiera de las siguientes situaciones:

- Endurecimiento del material de sello
- Extrusión del material de sello
- Pérdida de adhesión a una o ambas paredes de la junta
- Pérdida de cohesión
- Pérdida completa del sello en la junta
- Crecimiento de hierba en la junta

Figura 27. Esquema de pérdida de sello en juntas



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas posibles
 - Uso de materiales de mala calidad
 - Envejecimiento del material del sello
 - Caja del sello mal diseñada
 - Proceso de colocación del sello incorrecto
 - Exceso de material en la junta

- Niveles de severidad
 - Baja: menos del 5 % de la longitud de la junta con deficiencias.
 - Media: desde un 5 % hasta un 25 % de la longitud de la junta con deficiencias.
 - Alta: más del 25 % de la longitud de la junta con deficiencias.

Figura 28. **Pérdida de sello en juntas**



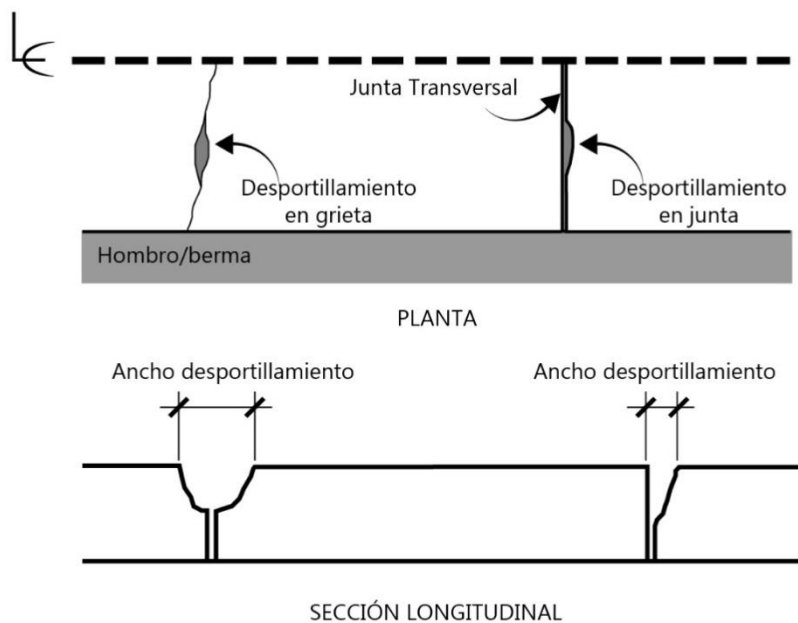
Fuente: JARAMILLO, Diego. *Evaluación y patología de pavimentos de concreto* [Presentación].

P. 13.

2.5.2. Desportillamiento de junta longitudinal y transversal

Falla que implica agrietamiento, rotura o astillado de los lados de las losas que puede afectar hasta 30 cm en el interior de la losa medidos desde la cara de la junta.

Figura 29. Esquema de desportillamiento en juntas

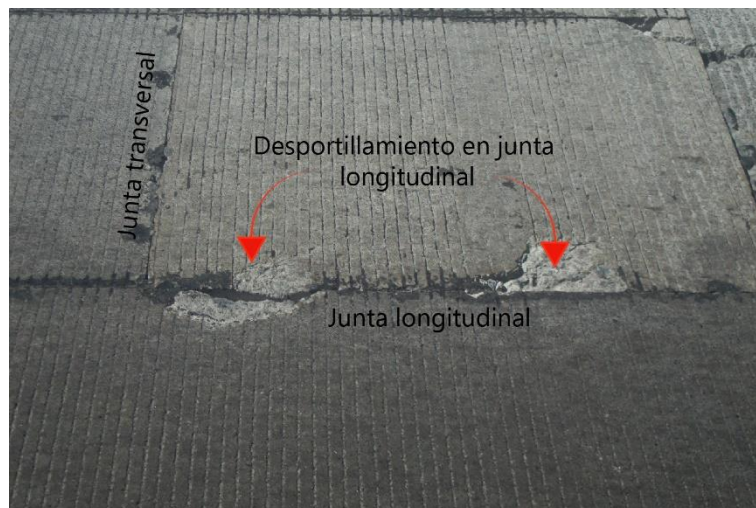


Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas posibles
 - Penetración de materiales incompresibles en la caja de la junta o una grieta activa.
 - Bordes débiles de la junta debido a defectos en la construcción o acabado excesivo.

- Niveles de severidad
 - Baja: ancho del desportillamiento menor a 50 mm, no se presenta pérdida de material.
 - Media: ancho del desportillamiento entre 50 mm hasta 150 mm, presenta pérdida de material.
 - Alta: ancho del desportillamiento mayor a 150 mm, presenta pérdida de material.

Figura 30. **Desportillamiento en juntas**

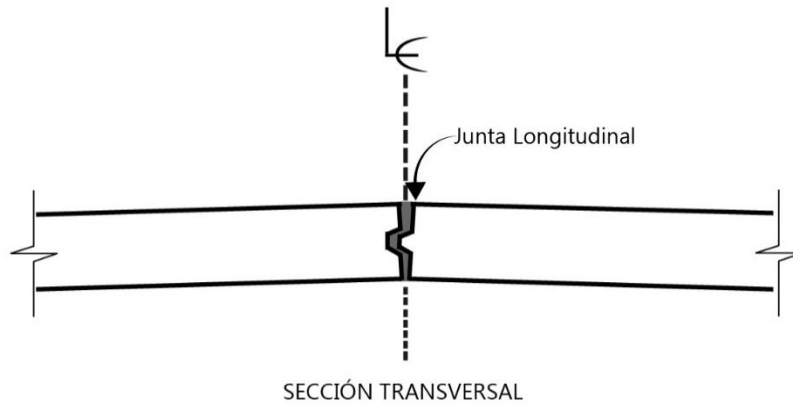


Fuente: Carretera CA-1 Occ. Guatemala, abril de 2016.

2.5.3. Separación de la junta longitudinal

Falla que se denota por una apertura anormalmente grande de la junta longitudinal.

Figura 31. **Esquema de separación de la junta longitudinal**

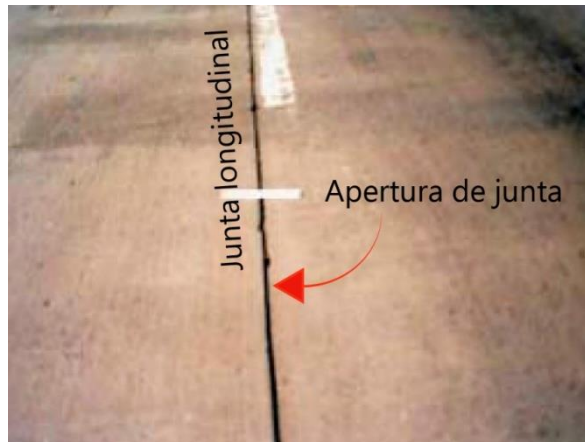


Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas posibles
 - Ausencia de barras pasajuntas.
 - Desplazamiento lateral de las losas debido a los asentamientos diferenciales de la subrasante.
 - Ausencia de bermas.

- Niveles de severidad
 - Baja: ancho de separación menor de 3mm, no presenta deformación perceptible en la sección transversal de la vía.
 - Media: ancho de separación que va desde 3 mm hasta 20 mm, presenta deformación en la sección transversal de la vía pero sin que esta implique riesgos en la seguridad del tránsito.
 - Alta: ancho de separación mayor a 20 mm, presenta deformación en la sección transversal de la vía, lo que implica un riesgo en la seguridad del tránsito.

Figura 32. **Separación de junta longitudinal**



Fuente: Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica. *M5.2. Catálogo de deterioros de pavimentos rígidos*. P. 9.

2.6. Deterioros superficiales

Se le clasifica como deterioro superficial a cualquier daño que no pone en riesgo la integridad estructural del pavimento, pudiendo estos deterioros afectar la comodidad de los usuarios y la funcionalidad del pavimento, así como la velocidad de desplazamiento de los vehículos. La superficie del pavimento es la más propensa a daños de entre todas las capas de la estructura, pues se encuentra expuesta en todo momento a un desgaste, producto del paso de los vehículos, de diseño y sobrecargas, así como por el ambiente. Es de interés notar que a este tipo de daños se les dará solución con reparaciones de espesor parcial.

2.6.1. Descascaramiento

El descascaramiento es la desintegración del concreto en la superficie de la losa. Esta desintegración varía entre 3mm y 13 mm, lo que representa la pérdida

de la textura, quedando en exposición el agregado grueso. Este tipo de daño puede ocurrir en cualquier ubicación de la superficie del pavimento.

- Causas posibles
 - Mala dosificación en el concreto.
 - Exceso de mortero en la superficie producto de un mal vibrado en el concreto.
 - Debido a la acción del tránsito en clima frío cuando se presenta un agrietamiento mapeado en la losa.
 - Falta de aditivos incorporadores de aire en el concreto.
 - Curado deficiente.

- Niveles de severidad
 - No son aplicables por medio de inspección visual.

Figura 33. **Descascaramiento**



Fuente: JARAMILLO, Diego. *Evaluación y patología de pavimentos de concreto* [Presentación].

P. 14.

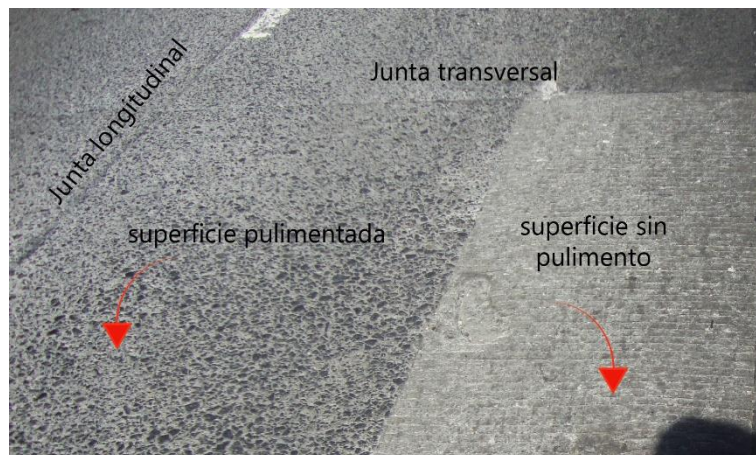
2.6.2. Superficie pulimentada

Deterioro de la textura y mortero en la superficie del concreto dejando expuesto el agregado grueso, lo que produce una pérdida de fricción entre el pavimento y los vehículos, es decir una superficie resbaladiza.

- Causas posibles
 - Mala dosificación en el concreto.
 - Mala ejecución de la textura en el pavimento.
 - Exceso de mortero producto de un mal vibrado en el concreto.
 - La acción del tránsito en clima frío debido a los ciclos hielo-deshielo.

- Niveles de severidad
 - No son aplicables por medio de inspección visual.

Figura 34. Superficie pulimentada

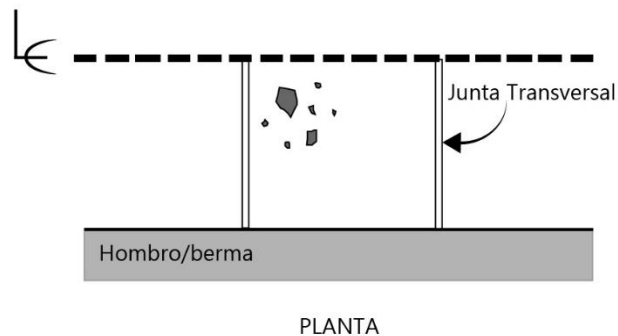


Fuente: Carretera CA-1 Occ. Guatemala, abril de 2016.

2.6.3. Pérdida puntual

Formación de pequeños agujeros o baches de varios tamaños en la superficie. El diámetro de estas alteraciones varía normalmente de 25 mm hasta 100 mm, y presenta una profundidad que va desde los 13 mm hasta los 50 mm.

Figura 35. **Esquema de pérdida puntual en pavimento**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas posibles
 - Presencia en la mezcla de concreto de materiales que se disgregan fácilmente, como arcilla, cal, entre otros.
 - Mortero no homogéneo.

- Niveles de severidad
 - No son aplicables, ya que estos no se clasifican por niveles de severidad. Se establece según la intensidad de baches por tramo unitario o unidad de muestreo y el área de estos en m².

Figura 36. **Pérdida puntual**



Fuente: Carretera CA-1 Occ. Guatemala, abril de 2016.

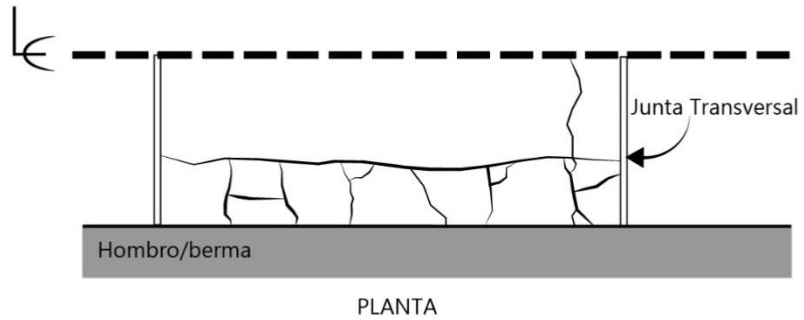
2.7. Deterioros avanzados

Se le clasifica como deterioro avanzado a cualquier daño que pone en riesgo la integridad estructural del pavimento. Estos deterioros afectan en gran manera la comodidad de los usuarios y la funcionalidad del pavimento. En su mayoría, se presentan por la falta de mantenimiento y reparación de fallas que son habituales en este tipo de pavimentos, entonces, como consecuencia, las reparaciones son mayores en magnitud y costo que las producidas por deterioros superficiales.

2.7.1. Segmentación

Es una falla que se identifica por la presencia de numerosas grietas que afectan todo el espesor de losa generando múltiples segmentos. La segmentación puede llegar a dañar la totalidad de la losa.

Figura 37. **Esquema de segmentación en losas**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas
 - Falta de mantenimiento y reparación de grietas de esquina, longitudinales, transversales o combinaciones de estas.
- Niveles de severidad
 - Es considerado en todo momento como una falla de severidad alta.

Figura 38. **Segmentación**

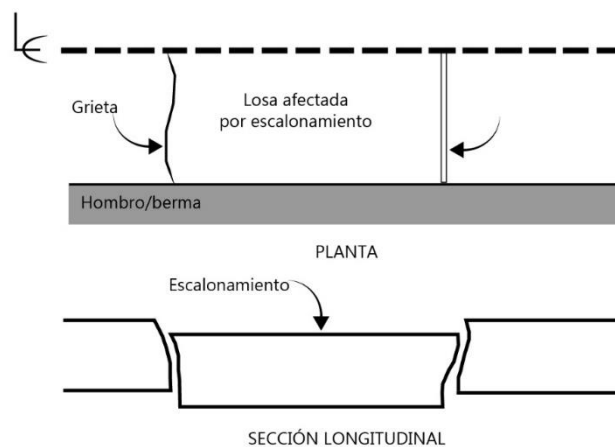


Fuente: Carretera CA-1 Occ. Guatemala, abril de 2016.

2.7.2. Escalonamiento

Falla que se identifica por la presencia de un desnivel entre dos superficies del pavimento, lo cual puede corresponder a losas continuas separadas por una junta transversal o dos segmentos de una misma losa separados por una grieta.

Figura 39. Esquema de escalonamiento

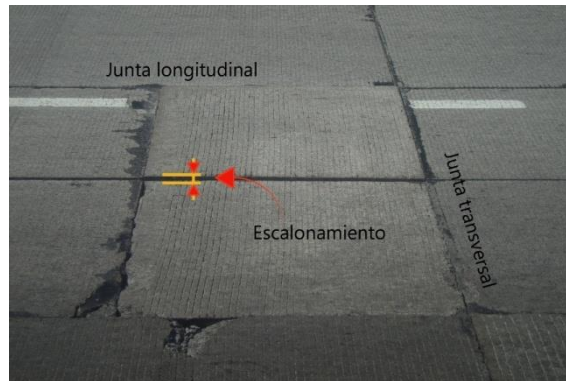


Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas posibles
 - Erosión de la base en las partes cercanas a la junta o grieta.
 - Asentamientos diferenciales en la subrasante.
 - Poca o nula capacidad de transmisión de carga entre losas.
 - Capacidad de drenaje insuficiente.

- Niveles de severidad
 - Baja: desnivel menor a 5 mm.
 - Media: desnivel desde 5 mm hasta 10 mm.
 - Alta: desnivel mayor a 10 mm.

Figura 40. **Escalonamiento**

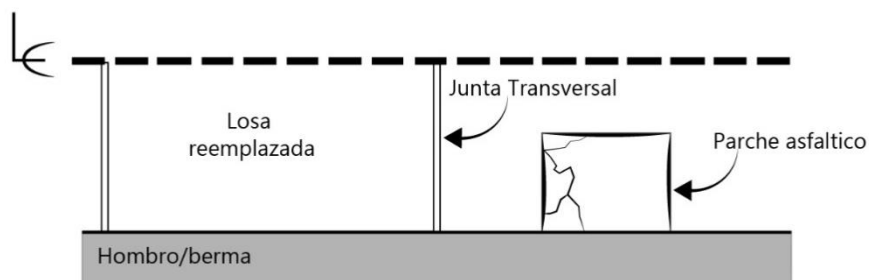


Fuente: Carretera CA-1 Occ. Guatemala, abril de 2016.

2.7.3. **Reparaciones deterioradas**

Comprende cualquier área de la carpeta de rodada del pavimento que ha sido reemplazada por materiales como concreto asfáltico o concreto hidráulico, ya sea como una acción preventiva o de reparación, la cual se ha deteriorado. Esta área puede corresponder a losas completas o áreas superiores a 0,1 m² dentro de cualquier losa.

Figura 41. **Esquema de reparaciones deterioradas**

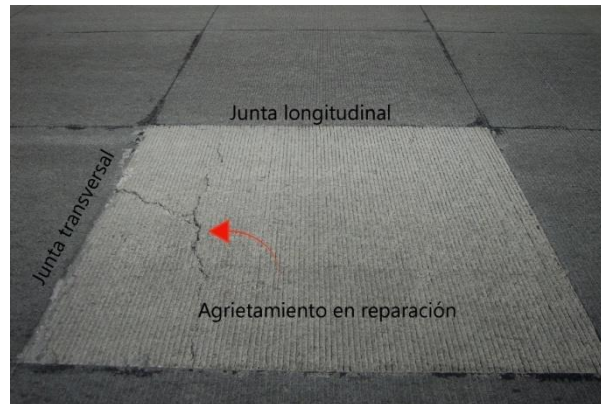


PLANTA

Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Causas posibles
 - Parches de concreto asfáltico
 - Capacidad estructural insuficiente.
 - Mala construcción.
 - Distintos módulos de elasticidad entre la reparación y la superficie.
 - Parches de concreto hidráulico
 - Poca capacidad de transferencia de carga en las juntas de contracción.
 - Mala construcción.
 - Retracción de fraguado del concreto nuevo que lo despega del concreto antiguo.
- Niveles de severidad
 - Baja: cualquier tipo de deterioro en la reparación, asentamiento imperceptible, bombeo no evidente.
 - Media: cualquier tipo de deterioro en la reparación, asentamiento menor a 5 mm, bombeo no evidente.
 - Alta: cualquier tipo de deterioro en la reparación, asentamiento mayor a 5 mm, bombeo evidente.

Figura 42. **Reparaciones deterioradas**



Fuente: Carretera CA-1 Occ. Guatemala, abril de 2016.

2.7.4. **Bombeo**

Falla en el pavimento que se identifica por la eyección de agua con mezcla de suelos finos a través de las juntas, grietas y bordes del pavimento al paso de vehículos, principalmente pesados, sobre la superficie del pavimento. Esta eyección de finos puede causar problemas posteriores en la capacidad de soporte de la base, dando pauta a que el pavimento sufra otro tipo de fallas.

- Causas posibles
 - Baja capacidad de drenaje del pavimento.
 - Juntas y grietas no reparadas que permiten la infiltración de agua bajo la superficie.
 - Transmisión inadecuada de carga entre losas.

- Niveles de severidad

Para determinar el nivel de severidad, el fenómeno del bombeo se deberá manifestar dejando un bache en la berma. Si se presenta un bache los niveles serán los siguientes:

- Baja: bache entre pavimento y berma menor a 50 mm.
- Media: bache entre pavimento y berma desde 50 mm hasta 150 mm.
- Alta: bache entre pavimento y berma mayor a 150 mm.

Figura 43. **Bombeo**



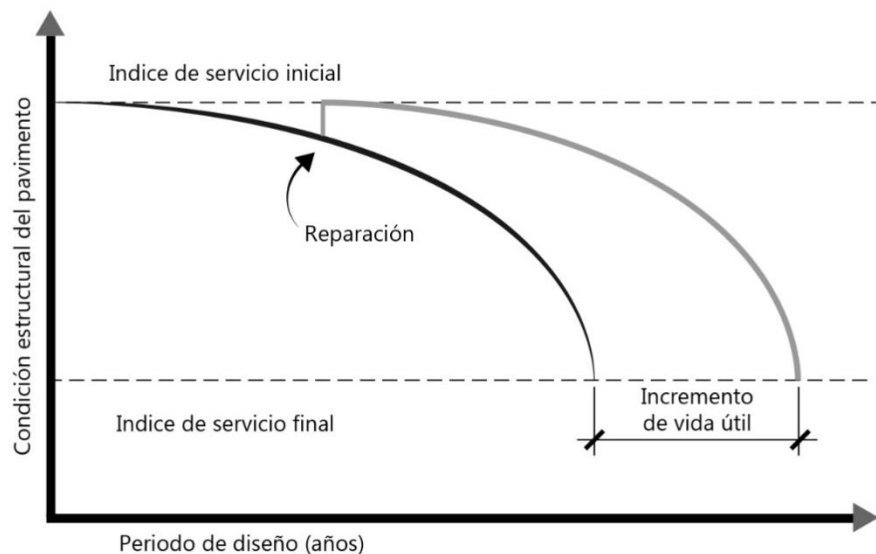
Fuente: JARAMILLO, Diego. *Evaluación y patología de pavimentos de concreto* [Presentación].

P. 15.

3. REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Los pavimentos de concreto hidráulico, como cualquier otro tipo de pavimento, sufren de un deterioro progresivo consecuencia de la fatiga en la estructura, provocada por el tránsito continuo de vehículos de todo tipo. Un pavimento, como bien se tiene conocimiento, es diseñado para prestar un servicio adecuado durante determinado número de años; sin embargo, el envejecimiento de los materiales, la presencia de fallas estructurales y no estructurales, la ausencia de mantenimiento y las condiciones climatológicas desfavorables, son factores que repercuten de manera negativa en la vida útil del pavimento, por tanto, se deben realizar las medidas de reparación y mantenimiento necesarias no solo para cumplir con el período de diseño, sino para extender la vida útil del pavimento (ver figura 44).

Figura 44. **Impacto del mantenimiento en la vida útil del pavimento**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

Los procedimientos de rehabilitación dan la posibilidad de mantener las condiciones de servicio, restablecer el nivel de servicio cuando se ha notado una reducción en este, así como de repotenciar el pavimento para que este soporte cargas más grandes en magnitud y frecuencia. La rehabilitación o reparación no es considerada como mantenimiento, debido a que esta consiste en un arreglo más drástico de la obra. En cualquier tipo de rehabilitación se deben tomar en cuenta dos factores:

- Buscar eliminar la causa que genera los daños.
- Devolver al pavimento su funcionalidad y su capacidad de prestar un buen servicio.

Normalmente, al buscar eliminar el daño en el pavimento, muchas veces se toma la decisión de realizar la reparación sin antes detectar y corregir la causa que provoca ese daño; sin embargo, es una práctica muy recurrente en el ámbito de las vías terrestres el no investigar y solo reparar con una probabilidad alta de que se vuelva a presentar la falla, generando a su vez una inversión en reparaciones más grande. Considerando lo anteriormente descrito, se presenta la siguiente secuencia lógica de reparación:

- Identificación del daño
- Clasificación
- Registro
- Definir causa
- Definir la reparación adecuada
- Diseño de la reparación
- Reparación
- Monitoreo y seguimiento

3.1. Requisitos de construcción

Cuando se trata de reparar un pavimento de concreto hidráulico pueden darse dos casos: que el deterioro solo involucre la superficie de la losa o que involucre todo su espesor. Dependiendo del tipo de daño, así será la selección del procedimiento de reparación. Las áreas de la superficie del pavimento que se consideren requieran una reparación debido a fallas de cualquier tipo, previamente a ser reparadas deberán ser identificadas y estudiadas en campo un lapso máximo de 60 días, recolectando toda la información que exista sobre la construcción del pavimento. El delegado residente deberá delimitar con pintura las áreas que cumplan con los requerimientos de reparación y deberán ser reparadas conforme a los siguientes procedimientos.

3.1.1. Composición de la mezcla

La mezcla para cualquier tipo de reparación del pavimento deberá cumplir con los requisitos de la sección 501.07, además se deberá cumplir con que el cemento posea un color similar al del concreto ya existente en la superficie y que los agregados a utilizar tengan una graduación, color y dureza similares a los agregados utilizados en la construcción del pavimento, por tanto, es necesario verificar toda información existente sobre el diseño de mezcla. A manera de comprobar las características del concreto se deberán realizar al menos dos ensayos al concreto en estado fresco: el ensayo de asentamiento o “*slump*” y la fabricación de cilindros de concreto fresco para pruebas de resistencia a compresión.

3.2. Maquinaria y equipo

Para las reparaciones se deberá suministrar el equipo adecuado de acuerdo al procedimiento de reparación previsto. De la misma manera también se deberá contar con el equipo de pavimentación que se especifica en la sección 501.04. El equipo de reparación será del siguiente tipo y deberá cumplir con lo siguiente:

- Cortadora para la remoción del pavimento: se deberá contar con una cortadora que no fracture más de la profundidad necesaria de reparación.
- Sierras para el aserrado de juntas: se utilizarán sierras que tengan la capacidad de controlar y mantener las dimensiones de corte requeridas, además de no dañar el concreto adyacente o el material de las juntas.
- Equipo de limpieza con chorro de arena: el equipo suministrado deberá ser capaz de remover cualquier residuo o material extraño de las juntas, de esta manera se garantiza la adherencia del nuevo sellante.
- Equipo de limpieza con chorro de agua: el equipo suministrado deberá impulsar el agua a alta presión, siendo al mismo tiempo capaz de remover cualquier residuo o material extraño de las juntas, de esta manera se garantiza la adherencia del nuevo sellante.
- Compresores de aire: el compresor deberá desarrollar una presión mínima en la boquilla de 690 KPa (100 psi), su función principal será extraer cualquier desecho de las juntas y al mismo tiempo secar las juntas y grietas.

- Equipo de sellado de grietas y juntas: este equipo deberá llenar los requisitos del fabricante del material sellante a ser utilizado.
- Planta móvil para inyección de lechada: se deberá contar con una planta capaz de producir una mezcla homogénea, con una presión de 1 900 KPa (275 psi) que bombee a una razón mínima de 6 litros por minuto, además de esto se deberá contar con los accesorios y controles necesarios para garantizar el sello durante la inyección de lechada.
- Equipo para perforación (saca-testigos): el objetivo del equipo de perforación es abrir los agujeros necesarios para elevar las losas del pavimento. Los saca-testigos deberán ser capaces de perforar la losa de concreto de manera recta con un diámetro mínimo de 38 mm, el saca-testigos deberá de pesar no más de 27 kilogramos y poseer una presión de perforación menor de 90 kilogramos.
- Equipo para ensayo de estabilidad de la losa: para efectuar el ensayo (ver figura 45) se deberá contar con el siguiente equipo:
 - Un camión con eje trasero de llantas dobles, con 80 KN (18 000 libras) distribuidas uniformemente entre las llantas del eje trasero.
 - Dispositivos para medir cargas estáticas capaces de detectar el movimiento de la losa bajo la aplicación de la carga.
 - Una viga Benkelman modificada o un dispositivo similar aprobado.

Figura 45. **Viga Benkelman para ensayo de estabilidad de la losa**



Fuente: American Concrete Pavement Association. *Slab Stabilization Guidelines For Concrete Pavements*. P. 3.

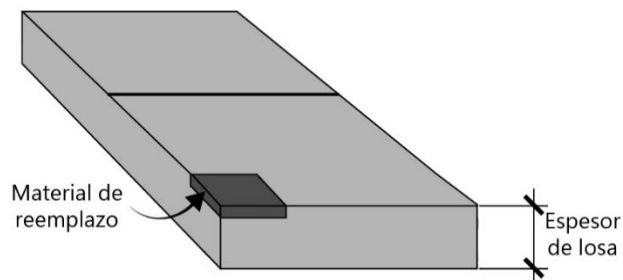
- Equipo para fresado de la superficie: el equipo deberá ser autopulsado, poseer discos de diamante, capaz de fresar un ancho de al menos un metro y posibilitar el fresado de la superficie sin dañar juntas ni fracturar agregados en la superficie tras su paso.
- Equipo para fracturar y asentar el pavimento: el equipo debe ser capaz de fracturar el pavimento en la forma deseada sin astillarlo o provocar un efecto de desplazamiento, en ningún momento se podrán utilizar martillos neumáticos vibratorios ni bolas demoledoras de caída libre. Una vez el pavimento está fracturado, se utilizará un rodillo de llantas neumáticas de al menos 32 toneladas métricas para asentar el pavimento.

3.3. Reparación de espesor parcial

A los agrietamientos, descascaramiento de la superficie, desportillamiento en las juntas o cualquier otro daño localizado que afecte la superficie del pavimento, se le da solución con una reparación a espesor parcial (ver figura 46). Este tipo de reparación consiste en procedimientos de reparación localizados que evitarán el desarrollo de otros deterioros posteriores y problemas en el tránsito de los vehículos.

Es necesario que el inicio de las operaciones de reparación sea realizado posteriormente a la aprobación del diseño de mezcla, y que al finalizar su construcción presente una apariencia similar a la del concreto ya existente. Para evitar este tipo de inconvenientes se procede a crear planchas de prueba que permitan comparar las características físicas del concreto para su puesta en obra.

Figura 46. **Reparación a espesor parcial**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

3.3.1. Materiales

Los materiales a utilizar en la reparación son elegidos según la profundidad de reparación y la velocidad de apertura al tránsito, siendo los materiales a utilizar de tres tipos:

- Mezcla de concreto de alta resistencia inicial: este tipo de mezcla se caracteriza por el rápido desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto, llegando a alcanzar los 21 Mpa en menos de 24 horas. Este tipo de mezcla es utilizada cuando se requiere que el pavimento sea puesto en servicio rápidamente, aproximadamente en un lapso de 4 a 5 horas.
- Mezcla de concreto de fraguado normal: este tipo de mezcla se utiliza cuando se posee el tiempo necesario para proteger el pavimento de la acción del tránsito, siendo el mínimo 24 horas. En las reparaciones donde son empleadas mezclas de este tipo es necesario utilizar un mortero con una proporción 1:1 como adherente entre concreto viejo y concreto nuevo.
- Materiales de resistencia rápida patentados: esta denominación corresponde a los materiales que deberán ser aplicados según las especificaciones del fabricante para garantizar su adherencia, colocación, curado y tiempo de apertura al tránsito. Ejemplos de estos materiales son los morteros con resina epóxica y los concretos epóxicos.

Según la sección 502.06, al presentarse una profundidad de bacheo menor o igual a 40 mm se deberá utilizar un mortero epóxico o concreto con polímeros y, si la profundidad de bacheo es mayor a 40 mm, se deberá utilizar concreto hidráulico.

3.3.2. Preparación del área de bacheo

La preparación se divide en dos procedimientos, cada procedimiento deberá cumplirse a cabalidad a manera de garantizar la funcionalidad de la reparación. Estos procedimientos consisten en la delimitación del área de bacheo y la remoción del concreto en dicha área.

- Delimitación del área de bacheo: posterior al estudio de la superficie se procede a delimitar con pintura las áreas dañadas, extendiendo esta delimitación un mínimo de 100 mm y formando zonas cuadradas o rectangulares. Cuando se presenten varias áreas que necesiten reparación en la misma losa y la distancia entre estas sea menor a 600 mm, se recomienda que se unifiquen las áreas a manera de disminuir los costos de reparación y darle a la reparación un aspecto más agradable.
- Remoción del concreto: el perímetro del área dañada deberá cortarse con sierra cuyo material será aprobado por el delegado del proyecto, cuidando que el corte sea vertical y paralelo a las juntas ya existentes. La profundidad mínima del corte será de 40 mm, si se llegase a detectar que el daño se ha esparcido más de la profundidad mínima esta se podrá aumentar; sin embargo, si sobrepasa los 100 mm se deberá remover y reemplazar toda la losa.

Posterior al corte debe retirarse el concreto haciendo uso de equipo neumático o fresadoras en frío, para luego proceder a limpiar la superficie expuesta de concreto de cualquier material contaminante, utilizando para este

propósito el chorro de arena. Después de la limpieza se deberán eliminar los residuos dejados por el chorro de arena para colocar el material adhesivo de concreto viejo con el concreto nuevo.

3.3.3. Preparación de las juntas

Si el área a reparar colinda con una junta de cualquier tipo se deben tomar consideraciones especiales en la preparación de la reparación previo a la colocación del concreto.

- Juntas longitudinales: con el objetivo de permitir los movimientos longitudinales en el pavimento, se deberá colocar un elemento compresible a lo largo de la junta, para eliminar la adherencia del concreto de la reparación con el concreto de la junta.
- Juntas transversales: se deberá colocar un elemento compresible en las juntas que penetran todo el espesor de la losa, con el objetivo de eliminar la adherencia entre el concreto de la reparación y la junta, proporcionando además la forma adecuada para que la junta pueda sellarse con facilidad.

3.3.4. Colocación del material de bacheo

El procedimiento de colocación consiste en lo siguiente:

- Colocación del adherente: con el propósito de garantizar la adherencia del concreto viejo con el concreto nuevo, se

procede a aplicar un material adherente, en toda la superficie de la reparación, de forma pareja y en una capa delgada, ayudándose para este propósito con una brocha de cerdas duras. En el caso de utilizar materiales patentados, la aplicación del adherente será según las especificaciones del fabricante.

- Mezclado: la mezcla en este tipo de reparaciones se realiza normalmente en el sitio de trabajo, de esta manera se reducen los desperdicios de material. En el caso de usar un adherente epóxico, se deberá retrasar la colocación de la mezcla hasta que el adherente se encuentre en un estado pegajoso.
- Densificación del material: con el propósito de eliminar los vacíos entre la superficie a reparar y el concreto nuevo, la mezcla debe someterse a un proceso de consolidación, esto se logra vibrando el material con la ayuda de un vibrador de inmersión, cuyo diámetro no deberá sobrepasar los 25 mm, o se podrá utilizar algún método manual de vibración, teniendo cuidado de no vibrar en exceso la mezcla, ni agitar el concreto con el vibrador.
- Acabado: el acabado debe hacerse de manera que no se afecte la sección transversal de la vía, se recomienda hacerlo desde el centro de la reparación hacia los bordes, esto debido a que se pretende evitar un desprendimiento de la mezcla de los bordes que afectaría la adherencia de la reparación.

- Texturizado: el único requisito para el texturizado es que este deberá realizarse de manera que sea similar al de la superficie del pavimento ya existente.
- Llenado de cortes: todo corte con sierra fuera del área de reparación deberá ser rellenado con un mortero, esto se hace con el propósito de evitar la penetración de agua y elementos incompresibles.
- Sellado: cuando el material de reparación está hecho a base de cemento, se debe sellar la superficie con una lechada de proporción 1:1 que ayudará a proteger la reparación.
- Curado: en este tipo de reparaciones, como en todo proceso donde se utilice concreto, es necesario el curado, en este caso las reparaciones, de no ser cuidadosamente curadas, presentarán una fisuración temprana debido a la rápida pérdida de humedad. Los procedimientos de curado se definen en la sección 501.12.
- Sellado de las juntas: previo al sellado las juntas, en el caso de que alguna junta se encuentre obstruida por la mezcla de bacheo, esta se reparará aserrándola para proveerle un factor de forma adecuado, esto se hace con el propósito de que la junta siga cumpliendo su función en el pavimento. Posteriormente se deberá limpiar la junta de materiales extraños para proceder a sellarla con los materiales indicados en la sección 551.06.

3.4. Reparación de juntas

Consiste en todas las operaciones que tiene como propósito la reparación y sellado de las juntas que se encuentren en estado de deterioro, con el objetivo de lograr que el pavimento alcance su vida útil prevista. Para realizar las acciones de reparación es importante analizar que las juntas no experimenten desplazamientos verticales significativos, que son un indicador de una mala transferencia de carga entre losas, a manera de que si está presente esta condición, se deberá actuar conforme al procedimiento de una reparación en todo el espesor de losa.

3.4.1. Materiales

La selección del material apropiado se realiza en función del ancho promedio y ubicación de las juntas a reparar.

- Juntas con ancho promedio menor de 12 mm: los materiales a utilizar para el sello de este tipo de juntas corresponderán a aquellos que tengan una deformación admisible entre el 20 % y 30 %.
- Juntas de ancho promedio entre 12 mm y 20 mm: los materiales a utilizar para el sello serán del tipo termoplástico de aplicación en caliente, con una deformación admisible entre el 10 % y 20 %.
- Juntas de ancho promedio entre 20 mm y 30 mm y juntas longitudinales de cualquier ancho: los materiales a utilizar deberán ser del tipo mástic asfáltico modificado con polímeros.

- Juntas de ancho promedio superior a 30 mm: el material a utilizar deberá ser una mezcla compuesta por arena y emulsión asfáltica, con un mínimo de 18 % de emulsión. La granulometría de la arena deberá corresponder a lo mostrado en la tabla IV.

Tabla IV. **Granulometría de arena para el sellado**

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa		
	A	B	C
1/2"	----	----	100
3/8"	100	100	85-100
2No. 4	85-100	85-100	55-85
No. 8	80-90	65-90	35-65
No. 30	55-80	30-50	15-35
No. 100	5-15	5-15	2-10

Fuente: Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica. M5.2. *Catálogo de deterioros de pavimentos rígidos. Anexo. P. 2.*

3.4.2. Preparación de las juntas

Comprende todos los procedimientos a realizar antes de la aplicación del sellador en la junta.

- Remoción del material existente: con la ayuda de sierras, herramienta manual u otro equipo, se deberá remover todo el material de respaldo y sello, teniendo especial cuidado de no dañar el concreto en la junta.
- Limpieza: posterior a la remoción de todo el material antiguo en la junta, se deberá barrer para eliminar todo material

suelto dentro de ella y la superficie adyacente de losa, luego se utilizará aire comprimido libre de aceite que elimine cualquier tipo de residuo y polvo.

Si ninguno de los procedimientos especificados anteriormente logra limpiar correctamente la junta, se procederá a realizar un corte, con un mínimo de 2 mm en cada cara de la junta, utilizando una sierra más gruesa que permita exponer superficies nuevas de concreto.

- **Imprimación:** cuando sea especificado el uso de un material imprimante se deberá asegurar que se produzca la adherencia requerida por el material sellador.
- **Instalación del respaldo:** después de limpiar y secar la junta se colocará el material de respaldo en la profundidad requerida, es importante que en el momento de la instalación el material no se estire ni doble. La instalación del material de respaldo se encuentra limitada a la cantidad de juntas que se puedan sellar en el mismo día.

3.4.3. Aplicación del sellador

Una vez colocado el material de respaldo, se procederá a sellar inmediatamente, utilizando para este propósito los materiales aprobados según el ancho promedio de la junta. Al realizar la operación debe procurarse que la mezcla sea homogénea, su temperatura esté entre los límites establecidos por el fabricante y que la temperatura ambiente sea mayor a 5°C y menor a 30°C.

Al colocar el material en la caja del sello no se deberán dejar espacios sin llenar y se deberá realizar con cuidado, procurando no manchar la superficie del pavimento, de manera que si se mancha se deberá limpiar inmediatamente. Posterior a su colocación, el material sellante deberá ser moldeado para formar una cajuela dejando una diferencia de 4 a 5 mm entre la superficie de la losa y el sello. Los espesores del sello varían según el ancho promedio de la junta, pero en ningún caso deberán ser menores a 13 mm.

- Juntas con ancho promedio menor de 12 mm: el espesor del material sellante será como mínimo 13 mm.
- Juntas de ancho promedio entre 12 mm y 20 mm: el espesor del material sellante será como mínimo 14 mm.
- Juntas de ancho promedio entre 20 mm y 30 mm: el espesor del material sellante será como mínimo 15 mm.
- Juntas de ancho promedio superior a 30 mm: el espesor del material sellante será como mínimo 20 mm.

3.5. Reparación de grietas

Proceso que consiste en una serie de operaciones que tienen como objetivo la reparación y sellado de los agrietamientos presentes en la superficie del concreto. Al reparar son obtenidos una serie de beneficios, entre estos evitar el ingreso de agua, restablecer la resistencia del pavimento, mejorar la apariencia de la superficie, entre otros. Es necesario que no se presenten desplazamientos verticales entre las caras de la grieta, de lo contrario se procederá con una reparación en todo el espesor de la losa. Para fines de reparación parcial los agrietamientos se clasificarán de la siguiente manera:

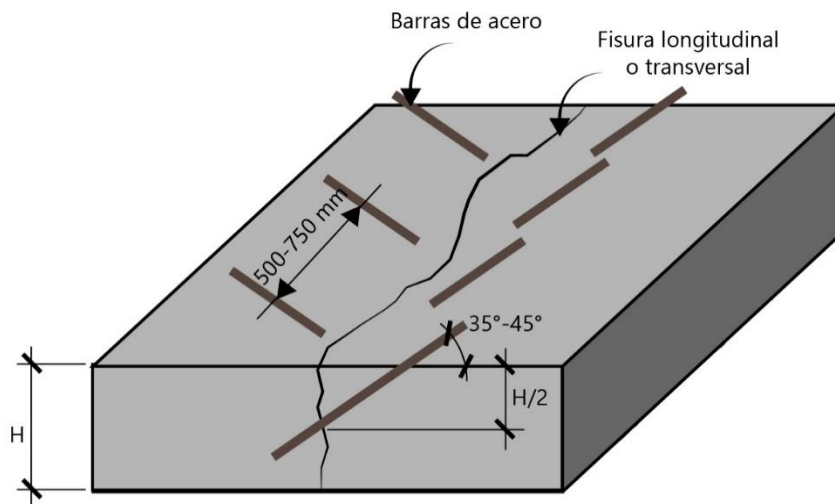
- Grietas de ancho promedio entre 3 mm y 30 mm.

- Grietas de ancho superior a 30 mm.
- Limpieza: para la limpieza se utilizará una contorneadora, esmerilador u otro equipo aprobado que permita exponer caras limpias de concreto en la abertura, hasta una profundidad de 20 mm, posteriormente se procede a expulsar los residuos y materiales extraños utilizando el equipo de chorro de aire, el cual secará al mismo tiempo las paredes de la fisura.
- Instalación del respaldo: en los casos donde la grieta sea muy ancha se colocará una esponja de respaldo a la profundidad requerida, cuidando que este no se estire ni se doble. Si las condiciones del alineamiento de la grieta impiden la instalación del respaldo se podrá omitir el uso del mismo.
- Sellado: las operaciones de sellado se realizan con base en la clasificación de la grieta, siendo necesario el moldeado del sello para formar una cajuela que tenga una diferencia de 4 a 5 mm entre la superficie de la losa y el sello.
 - Grietas de ancho promedio entre 3 mm y 30 mm: se sellarán con materiales del tipo mástic asfáltico. El sello deberá tener un espesor mínimo de 15 mm.
 - Grietas de ancho superior a 30 mm: se sellarán con un material que esté compuesto por una mezcla de arena y emulsión asfáltica. El sello deberá tener un espesor mínimo de 20 mm.

3.6. Costura de fisuras

Consiste en el anclaje de barras de acero corrugadas a lo largo de la fisura o junta (ver figura 47). Esta operación tiene como objetivo evitar los desplazamientos y apertura de la junta o fisura, evitar la penetración de agua en la base, mejorar la apariencia superficial, aumentar la durabilidad y restablecer la resistencia del pavimento ante las solicitaciones de carga. Se caracteriza por ser un procedimiento alternativo para la reparación de grietas longitudinales con niveles bajos de severidad.

Figura 47. **Operación de costura de fisuras**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

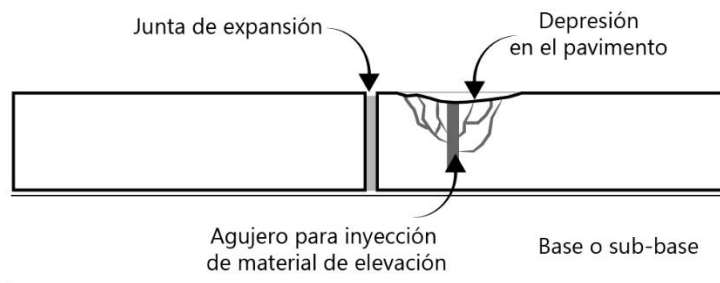
- Colocación: la perforación se realiza de forma inclinada, seleccionado el ángulo en función al espesor de la losa, utilizando 35° para un espesor menor a 300 mm y 45° para un espesor mayor o igual a 300 mm, y con un espaciamiento entre 500 mm y 750 mm, alternando a cada lado de la fisura o junta, siendo posible aumentar este espaciamiento cuando

se trata de pavimentos de tránsito liviano. Posterior a la perforación, se rellena el agujero con un material epóxico para después colocar las barras de acero limpiando cualquier exceso de epóxico que sobresalga. Terminadas estas operaciones se procede a cortar la parte de la barra que sobresale para, por último, realizar el acabado final a la superficie del pavimento.

3.7. Elevación del pavimento

Consiste en levantar y dar soporte al pavimento, devolviéndolo a su posición original, en los puntos donde se presenten depresiones, sin tener que recurrir a una reconstrucción (ver figura 48). Este tipo de daño se localiza frecuentemente en las secciones de relleno sobre alcantarillas y en los aproches de los puentes. El procedimiento consiste en perforar agujeros en la losa para inyectar lechada de cemento hidráulico u otro material aprobado.

Figura 48. Elevación del pavimento



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Perforación: una vez ubicados los puntos de inyección, se debe perforar la losa de manera vertical, produciendo un agujero con un diámetro máximo de 50 mm y evitando

romper el fondo del pavimento. Se recomienda que las perforaciones se hagan a una distancia de 1,5 a 1,8 metros entre sí, para evitar un exceso de presión.

- Levantado o nivelación: una vez establecido el sistema para monitorear el movimiento de la losa, se introduce en el agujero el sistema de inyección que bombeará lechada en cada agujero hasta alcanzar el nivel deseado, pero sin exceder de un levantamiento de 25 mm por agujero, lo que evitará una presión puntual excesiva que pueda provocar una fractura de la losa. Durante el bombeo serán permitidas presiones menores de 1,4 Mpa, pudiéndose elevar hasta 2 Mpa en períodos menores de 30 segundos. Si durante la operación la lechada empieza a salir por las juntas, grietas u hombros, o se produce una contrapresión en el sistema, se deberá detener el proceso.
 - Sellado: una vez haya fraguada la lechada, se procederá retirando la misma de los agujeros en toda la profundidad de la losa, para ser rellenados con un mortero epóxico.
 - Daños en la aplicación del método: la falta de cuidado en las acciones de elevación puede producir resultados no deseados, los cuales se deberán reparar y, de no ser posible, se procederá retirando la losa parcial o totalmente.
- Sobre elevación: este resultado se identifica por una elevación sobre las tolerancias especificadas en el diseño. Si la sobre elevación es menor a 25 mm, se procederá perfilando el pavimento

para dejarlo al nivel deseado, en cambio, si la elevación es mayor a 25 mm, se procederá reemplazando el pavimento afectado, pudiendo ser parcial o total.

- Agrietamiento: si durante el proceso de inyección aparecen grietas en los agujeros, estos deberán ser reparados reemplazando parcial o totalmente la losa.

3.8. Estabilización de losas

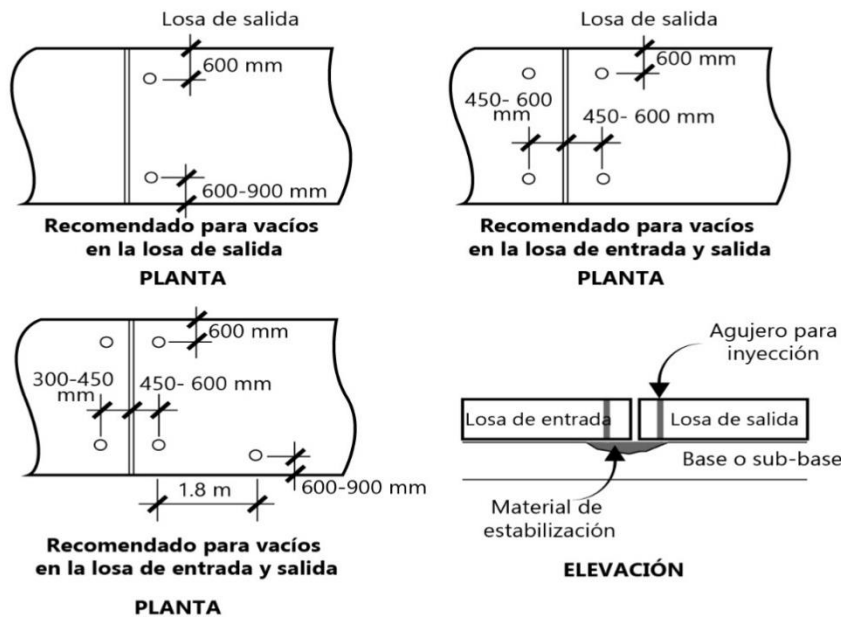
Esta operación de rehabilitación no destructiva consiste en la inyección de una mezcla de lechada de cemento hidráulico, simple o con la adición de un llenador u otro material aprobado, perforando agujeros para llenar los vacíos existentes en las capas de la estructura bajo la losa del pavimento brindando estabilidad, resistencia a la acción del bombeo y extendiendo la vida útil del pavimento (ver figura 49). Los vacíos usualmente aparecen cerca de las grietas, juntas o a lo largo del borde de las losas. La estabilización de losas no corrige depresiones, no incrementa la capacidad estructural de diseño del pavimento ni detiene la erosión de la base. Este proceso solo ayuda a mantener la integridad estructural de la superficie. La estabilización de losas consiste en una serie de actividades cuyo procedimiento se indica de la manera siguiente:

- Ensayos preliminares para detección de áreas a estabilizar: los ensayos deberán realizarse cuando no existan indicios de dilatación térmica, por tanto lo conveniente será realizar los ensayos en horas de la noche, ya que las juntas se encuentran abiertas y sus deflexiones son las más altas. Los ensayos corresponden a la inspección visual y a un método estático realizado con una viga Benkelman, de la siguiente forma:

- Se colocará un juego de indicadores de dial con medidor, capaz de medir movimiento de hasta 0,025 mm (0,001 pulg), en la esquina de cada losa a ambos lados de la junta transversal y cerca de las orillas del pavimento, es recomendado colocar la viga a un ángulo de 45° respecto de la orilla del pavimento, por último se ajustan los indicadores hasta que lleguen a cero, sin la presencia de ninguna carga en la losa (ver figura 45).
 - Se coloca el camión en su posición inicial, deteniéndolo con el centro del eje 300 mm detrás de la junta, y con la cara de la llanta externa a 300 mm de la orilla del pavimento, debiendo tomar la lectura del medidor trasero.
 - Mover el camión a través de la junta a una posición similar 300 mm delante de la junta y detenerlo, debiéndose tomar la lectura del medidor delantero.
 - Repetir el proceso para cada junta a ensayar, debiéndose colocar un sello por debajo de las losas que presenten una deflexión mayor de 0,8 mm.
- Perforación: la posición de los agujeros se definirá ya sea con base en los patrones típicos de estabilización de losas o según los resultados de los ensayos a las losas *in situ* (ver figura 49). El tamaño de los agujeros varía entre 30 y 50 mm, seleccionándose el diámetro que sea adecuado para una buena inyección de la mezcla y para proveer un sello positivo por medio de la boquilla de inyección, y con una profundidad de 75 mm debajo del fondo del concreto.
 - Limpieza de los agujeros: antes de empezar con el proceso de inyección se deben limpiar los agujeros con chorro de aire comprimido para eliminar cualquier desecho y permitir a la mezcla fluir de manera adecuada.

- Bombeo de lechada: el material de estabilización debe ser bombeado en todos los agujeros, prefiriéndose que se inyecte primero en los agujeros cercanos a línea central y por último los agujeros cercanos a los hombros. La boquilla de la manguera deberá sellarse con el objetivo de mantener la presión debajo de la losa. La inyección de material se iniciará con presiones bajas y se aumentará progresivamente en el rango de 0,3 a 0,5 Mpa (40 a 75 psi), con una máxima presión recomendada de 0,7 Mpa (100 psi), debiéndose además controlar la elevación de la losa evitando que esta supere los 1,3 mm, para que de esta manera se eviten los daños en la losa. Si se llegara a observar que la inyección es continua durante un minuto y no hay presente evidencia de que la losa se esté levantando, se deberán interrumpir las operaciones y proceder con otro tipo de reparación.
- Sellado de los agujeros: después del fraguado del material de estabilización se procederá a removerlo de los agujeros en toda su profundidad, debiéndose rellenar los agujeros con algún mortero o material epóxico.

Figura 49. **Configuraciones típicas de agujeros usadas en la estabilización de losas**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Ensayos de estabilidad: después de pasadas 24 o 48 horas de las operaciones, se procederá a ensayar nuevamente las losas. Si se siguen presentando deflexiones grandes se asumirá que el primer proceso de estabilización no restauró el soporte bajo las losas y se procederá realizando una segunda estabilización. Si este proceso se realiza tres veces sin presentar una solución al problema, se procederá removiendo y reemplazando las losas que causen problema.

3.9. Colocación de dovelas

En respuesta al aumento del tránsito en el pavimento o a una mala transferencia de carga entre losas, se crea la necesidad de transferir las cargas de otra manera distinta a la trabazón entre agregados, es aquí donde se procede

a colocar dovelas en las juntas transversales (ver figura 50) con el objetivo de restituir la capacidad de transferencia de carga, evitar los escalonamientos en las losas, reducir las deflexiones y aumentar la vida útil del pavimento.

Figura 50. **Sistema de colocación de dovelas**



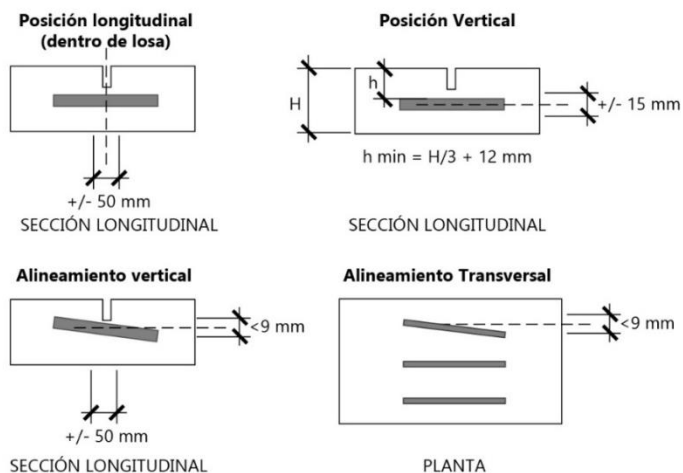
Fuente: JARAMILLO, Diego. *Evaluación y patología de pavimentos de concreto* [Presentación]. P. 38.

La operación de colocación de dovelas se realiza de la siguiente manera:

- Corte de ranuras: se procederá cortando las ranuras para la inserción de dovelas con ayuda de equipo para aserrado, realizando un mínimo de tres ranuras por huella de vehículo, con un espaciamiento de 300 mm entre sí, y separadas de 300 a 450 mm del borde de la losa y 600 mm de la junta longitudinal o línea central. Las ranuras deberán tener un ancho entre 60 y 65 mm, su largo se diseñará con base en la longitud de las dovelas, considerando que la longitud mínima de dovela embebida en el concreto a cada lado de la junta debe ser de 150 mm. Durante el corte se necesita ser extremadamente cuidadoso debido a que un buen

alineamiento en los cortes es necesario para que la dovela tenga un óptimo rendimiento (ver figura 51).

Figura 51. **Tolerancias en la ubicación de las barras de transferencia**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

- Preparación de la ranura: posterior al corte se deberá limpiar y secar la ranura con chorro de aire a presión, eliminando cualquier desecho o material perjudicial.
- Colocación de las dovelas: previo a ser colocadas las dovelas tendrán que ser engrasadas para permitir el libre movimiento de las losas en la junta. Al colocar las dovelas se debe cuidar el alineamiento y paralelismo que garanticen un buen funcionamiento.
- Sellado de ranuras: la ranura se sellará con un concreto de igual o mayor resistencia que el existente en la superficie del pavimento, aplicándose un aditivo epóxico en la superficie

del corte para garantizar la unión del concreto nuevo con el concreto ya existente.

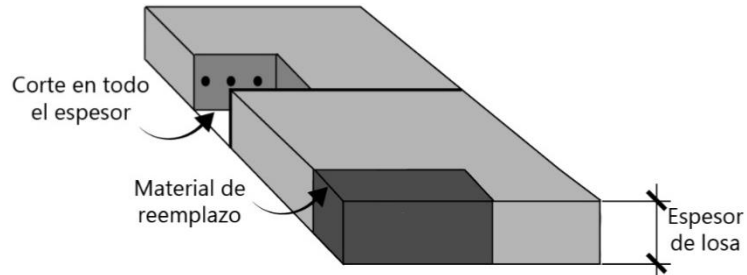
3.10. Fresado superficial

Consiste en la restauración de la superficie, removiendo una capa delgada de concreto con la ayuda de equipo de fresado, con discos diamantados produciendo una superficie llena de ranuras. Su objetivo consiste en eliminar las fallas superficiales de las juntas y grietas, proveer de un drenaje lateral adecuado y aumentar las características de fricción de la superficie. Este procedimiento puede ser repetido hasta tres veces sin afectar la vida útil del pavimento. Al momento de realizar las acciones de fresado debe removerse cualquier residuo sólido de la superficie para evitar que se desplacen a otros carriles o hacia los drenajes.

3.11. Reparación a profundidad total

Cuando los deterioros en los pavimentos de concreto hidráulico alcanzan un grado de severidad donde no se les puede dar solución por medio de una reparación a profundidad parcial, se procederá conforme al procedimiento de una reparación a profundidad total, siendo esta una reparación que implica el remover y reemplazar al menos una porción de concreto en su totalidad (ver figura 52), es decir hasta llegar a la base, removiendo de esta manera aquellos daños que produjeron la falla.

Figura 52. **Reparación en toda la profundidad de la losa**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

Son varias las causas que pueden convencer a un ingeniero de realizar este tipo de reparaciones. La causa más común se da por el deterioro en grietas y juntas que presentan desplazamientos verticales y daños que se extienden en más de $1/3$ del espesor de la losa; sin embargo, también pueden encontrarse daños como fracturas, bombeo, escalonamiento, ensanche en las perforaciones de las dovelas o pasajuntas, hendiduras, entre otros. Este tipo de reparación tiene como principal bondad el permitir restablecer las condiciones estructurales y de servicio originales, extendiendo la vida útil del pavimento; sin embargo, es responsabilidad del encargado de las operaciones de reparación el realizarlas de una manera eficiente, evitando problemas posteriores por reparaciones mal ejecutadas.

Tabla V. **Tipo y severidad del deterioro que requiere de reparación a profundidad total**

TIPO DE DETERIORO	NIVEL MÍNIMO DE SEVERIDAD QUE REQUIERE REPARACIÓN A PROFUNDIDAD TOTAL²
Pavimento con juntas Grieta de esquina Agrietamiento por durabilidad Deterioro en juntas ¹ Agrietamiento transversal aleatorio ¹ Agrietamiento longitudinal aleatorio ¹	Bajo Bajo Moderado Moderado (con faltante ≥ 6 m) Alto (con faltante ≥ 12 mm)
Pavimento continuamente reforzado Agrietamiento por durabilidad Perforaciones Agrietamiento transversal aleatorio ¹ Agrietamiento longitudinal aleatorio ¹	Alto Moderado (con faltante ≥ 6 m) Moderado (con ruptura del acero y faltante ≥ 6 mm) Alto (con faltante ≥ 12 mm)

¹ Reparación a espesor parcial es recomendada si el deterioro presente es menor a un tercio del espesor de la losa.

² Para pavimentos con un volumen alto de tránsito (pistas de bajo volumen de tránsito y baja velocidad pueden soportar más deterioro).

Fuente: American Concrete Pavement Association. *Guidelines For Full-Depth Repair*. P. 2.

3.11.1. Tamaño de las reparaciones

Para dimensionar una reparación es muy importante conocer la extensión del deterioro acompañado de un buen juicio por parte del ejecutante. Es habitual descuidar la extensión del deterioro con el objetivo de disminuir costos, entonces su consecuencia será que el pavimento seguirá deteriorándose y no habrá un aumento en su vida útil.

El área mínima a reparar deberá tener una dimensión igual a la de un carril, exceptuando los pavimentos de bajo tránsito, donde se podrá reducir esta distancia. Para los propósitos de determinar la otra dimensión de la reparación

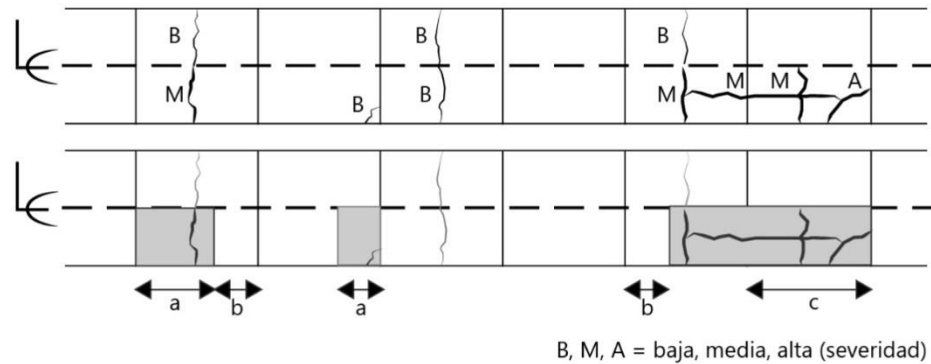
hay tres distintos casos: losas con dovelas en las juntas, losas sin dovelas en las juntas y reparaciones cercanas.

- Losas con dovelas en las juntas: la dimensión mínima de reparación en dirección longitudinal para este tipo de losas será de 2 m (6 pies). Esto permitirá que se resistan y distribuyan de mejor manera las cargas provocadas por el alto tránsito.
- Losas sin dovelas en las juntas: la dimensión mínima de reparación en dirección longitudinal para este tipo de pavimento está entre 2,5-3 m (8-10 pies). Esta longitud adicional en comparación a la de la junta con dovelas proveerá estabilidad, ayudando en la transferencia de cargas.

Una de las recomendaciones es que si el límite de la reparación se encuentra dentro de los 2 m (6 pies) medidos desde la siguiente junta transversal existente sin dovelas, que no requiera reparación, se podrá extender la reparación hasta dicha junta.

- Reparaciones cercanas: al encontrar reparaciones próximas entre sí, muchas veces es más eficiente y económico unir las (ver figura 53). La longitud de la reparación no deberá exceder la longitud máxima de losa. Este procedimiento no es obligatorio. Para las grietas longitudinales las distancias recomendadas anteriormente son imprácticas, debido a que comúnmente este tipo de grietas inician y terminan en juntas transversales.

Figura 53. **Esquema de distancia entre reparaciones a profundidad total**



- (a) Terminar en una junta existente si es posible; la longitud mínima es 2 m (6 ft) para juntas con dovelas; 2,5-3,0 m (8-10 ft) para juntas con trabazón de agregados.
- (b) Chequear la distancia entre los parches y las juntas cercanas.
- (c) Reemplazar la losa en su totalidad si se presentan múltiples grietas intersectadas entre sí.

Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

3.11.2. Materiales

La selección del material se hará conforme a la velocidad de apertura al tránsito, pero evitando descuidar la calidad, seleccionando un material durable y con buen rendimiento. El material más comúnmente utilizado es el concreto hidráulico, hecho con cemento Portland tipo I, II y III, el cual provee un buen rendimiento ante las sollicitaciones de carga y cambios de temperatura. Al utilizar este material para rellenar se tiene la ventaja de que sus propiedades sean iguales o similares a las del material ya existente, pero siempre se deberán comprobar las mezclas en laboratorio para asegurar que estas llenen los requisitos.

El asfalto es otro de los materiales más utilizados, pero la experiencia ha determinado que este no tiene tanta durabilidad y que puede llegar a causar deterioros adicionales en el pavimento, creando una mala sensación al paso del tránsito. Este material no es recomendado debido a su falta de adherencia con el concreto, y por las deformaciones ocasionadas en el material, producto de los cambios volumétricos en el concreto. Algunos de los materiales más utilizados y sus tiempos para apertura al tránsito se exponen en la siguiente tabla:

Tabla VI. **Tiempos aproximados para el desarrollo de resistencia (13,8 MPa) para diversos materiales de relleno de reparación**

PARA MEZCLAS UTILIZANDO:	TIEMPO PARA LOGRAR LA RESISTENCIA DE APERTURA
Ciertos tipos de cementos mezclados	2-4 horas
Cemento sulfo-aluminato	2-4 horas
Cemento tipo III sin acelerante a base de cloruro	4-6 horas
Cemento tipo III con acelerante de cloruro de calcio	4-6 horas
Cemento tipo I con acelerante de cloruro de calcio	6-8 horas
Cemento tipo III con mezcla reductora de agua tipo A	12-24 horas
Cemento tipo I (con inclusión de aire, sin cenizas volantes)	24-72 horas

Fuente: American Concrete Pavement Association. *Guidelines For Full-Depth Repair*. P. 9.

3.11.3. Proceso constructivo

El proceso de reparación a profundidad total de los pavimentos de concreto hidráulico con juntas consiste en un conjunto de siete operaciones en las cuales se procurará realizar el trabajo con eficiencia, evitando dañar las áreas cercanas a la reparación.

3.11.3.1. Aislamiento del área deteriorada

Una vez realizados los estudios e indicadas en los planos las losas que deberán ser reparadas, se procede a delimitar estas áreas marcándolas claramente con pintura. Lo siguiente es aserrar el contorno del área dañada con sierras adiamantadas u otro tipo de sierra que produzca un corte recto y limpio, aunque en ocasiones se especifica realizar un corte que permita caras con rugosidad para que esto contribuya, junto con las dovelas, a la transmisión de carga. Independientemente del método de corte a emplear se debe cuidar que el concreto en buen estado no sufra agrietamientos en consecuencia a las operaciones de aislamiento.

Para aislar la junta longitudinal se procederá a cortar la losa en todo el espesor, incluyendo las barras pasajuntas. La berma presenta dos casos dependiendo del material con el que haya sido construida: si la berma es de concreto se deberá cortar de la misma manera que una junta longitudinal, en caso contrario se tendrá que aserrar el concreto sobre la misma para generar un espacio adicional para la formaleta que servirá para la colocación del concreto. El aislamiento transversal se realiza de igual manera cortando todo el espesor de la losa, cuidando que al momento de cortar la sierra no penetre en más de 10 mm la base para evitar cualquier daño adicional.

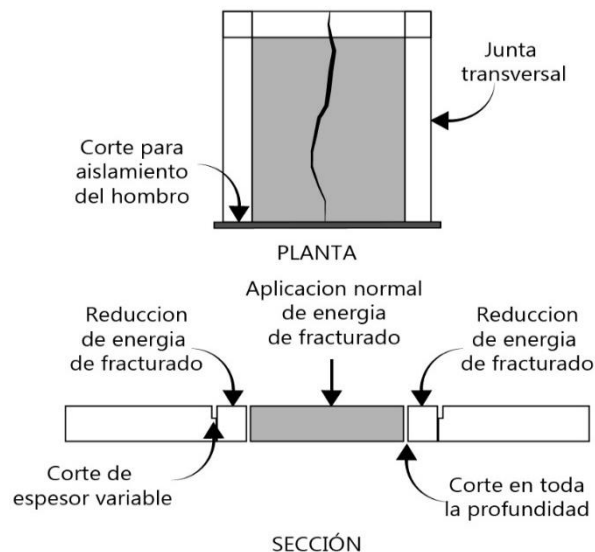
3.11.3.2. Izado o fracturado del pavimento

Dependiendo de las condiciones de la losa será elegido el método más conveniente para retirar el concreto dañado. El izado consiste en levantar el área previamente aislada con ayuda de equipo especializado como grúas o un cargador frontal. Es beneficioso usar este método, ya que se requiere menos tiempo para retirar el concreto, no causa daños a la base y es más simple la

operación de colocar las barras de transferencia de carga; sin embargo, como se mencionó anteriormente, requiere de equipo especializado y se corre el riesgo de que las secciones de concreto elevadas se fracturen y caigan pudiendo dañar la superficie o la base.

En cuanto al fracturado, se deberá considerar cuando el izado es impráctico, las operaciones se ejecutan con martillo neumático, martillo de caída libre o un ariete hidráulico. Este método puede presentar problemas considerables como daño a la base o agrietamiento en las losas, por tanto se recomienda hacer cortes secundarios en la superficie a una distancia de 300 mm del área a reparar, y que el rompimiento deba iniciarse desde el centro hacia los extremos, reduciendo la energía de demolición a medida que se acerca a zonas en buen estado (ver figura 54). Finalmente se utilizará herramienta manual para remover los escombros generados.

Figura 54. **Cortes y energía de compactación para la remoción del concreto**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

3.11.3.3. Reconstrucción de la base

Esta operación es realizada ante la presencia de daños en la base, producidos por las operaciones previas. Así también se deberá reparar cuando haya presencia de materiales con características inadecuadas, pérdida de material por bombeo, asentamientos, entre otros. El procedimiento consiste en limpiar, rellenar y compactar hasta cumplir con las especificaciones, en este tipo de reparaciones comúnmente no se cuenta con suficiente espacio para compactar, por tanto se utilizará un pequeño compactador vibrador de placa.

3.11.3.4. Instalación de dispositivos de transferencia de carga

Con el objetivo de brindar un mejor comportamiento ante las cargas de tránsito se deberán reforzar las juntas transversales del área reparada con dovelas. El diámetro recomendado para estos dispositivos varía entre 31 y 38 mm, con un largo de 450 mm. La instalación de las dovelas se realizará de la manera siguiente:

- Perforación: se recomienda no hacerla manualmente sino utilizar taladros de perforación automáticos que garanticen el alineamiento de las perforaciones. Esta maquinaria presenta la ventaja de poder realizar ajustes en la altura, profundidad y espaciamiento de las perforaciones, por tanto será la primera opción cuando se necesiten instalar dovelas.
- Limpieza: el agujero de la perforación se deberá limpiar con chorro de aire comprimido con una presión de 600 Kpa (90

psi) para eliminar polvo o residuos que puedan afectar la adherencia de la dovela.

- Colocación: una vez limpias las perforaciones se aplicará pintura epóxica o algún mortero alrededor del agujero, utilizando una boquilla larga para realizar esta acción. Después de recubrir todo el agujero la dovela será insertada girándola, para asegurar que el material la cubra en su totalidad y evitando que el material no se salga del agujero con la ayuda de un disco de retención de mortero.

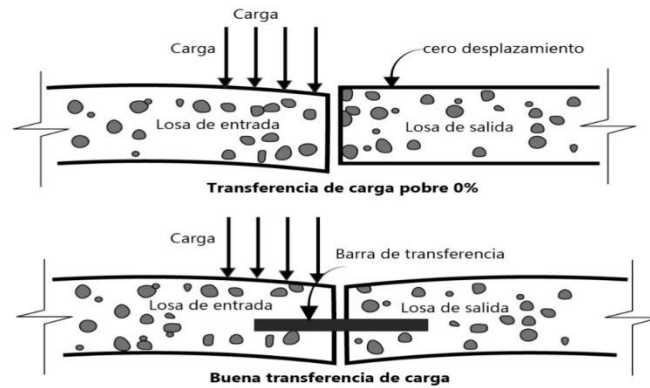
3.11.3.4.1. Barras pasajuntas

Son barras de acero utilizadas en las juntas longitudinales. Su función es la de transferir cargas vehiculares a losas vecinas y mantener las losas unidas. En la construcción del pavimento deberán ser colocadas martilladas y antes de las 24 horas de la colocación del concreto. Serán colocadas a una distancia de un pie, utilizando formaletas con orificios para la instalación de este tipo barras.

3.11.3.4.2. Dovelas

Son barras de acero liso, en conformidad con la norma ASTM A615 y con un diámetro mayor a una pulgada (1”). Tienen la función de transferir cargas entre losas separadas por una junta transversal, normalmente de construcción, para evitar el movimiento vertical de las losas (ver figura 55).

Figura 55. **Concepto de transferencia de carga**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

Durante la construcción del pavimento, estas pueden instalarse antes de la colocación del concreto, con pavimentadora durante la colocación del concreto, manual y simultáneamente con la descarga o manualmente posterior a la descarga. Antes de su instalación, deberán recubrirse con materiales aprobados que impidan la adherencia de la barra con el concreto, además, deberán cumplir con las tolerancias especificadas en su alineación y colocación (ver figura 51).

3.11.3.5. **Colocación y acabado del concreto**

En este tipo de reparaciones la colocación y acabado del concreto son igual de importantes que en el proceso constructivo. Una mala distribución, vibrado o acabado, tendría consecuencias negativas, reduciendo la calidad de la reparación y por tanto la vida útil. Se debe evitar en lo posible cualquier tipo de retraso al iniciar los trabajos de colocación, debido a que podría dañarse el área reparada o también provocarse problemas en el tránsito.

Antes de vaciar el concreto se procederá a limpiar las caras cortadas del pavimento que servirán como formaleta, luego de esto el concreto deberá ser uniformemente distribuido en toda el área y vibrado, evitando de esta manera la

formación de ratoneras que pueden reducir su resistencia. La superficie debe ser acabada con ayuda de reglas vibratorias o manualmente con reglas de bordes rectos de 3 metros de largo. Para las reparaciones cortas, es decir menores a 3 metros de lado, el acabado se podrá hacer manualmente, colocando la regla (manual o vibratoria) paralela a la junta longitudinal, dando los niveles correspondientes a la superficie, y para reparaciones grandes se podrá utilizar únicamente regla vibratoria. El procedimiento de alisado y acabado con llanas manuales no es muy recomendable debido a sus cortas dimensiones, pudiéndose presentar una superficie desnivelada en el concreto, lo que disminuiría la sensación de comodidad en el tránsito. Cuando el concreto se encuentra en condiciones adecuadas para realizar el texturizado, se realizará con el equipo que proporcione un acabado similar al de la superficie circundante.

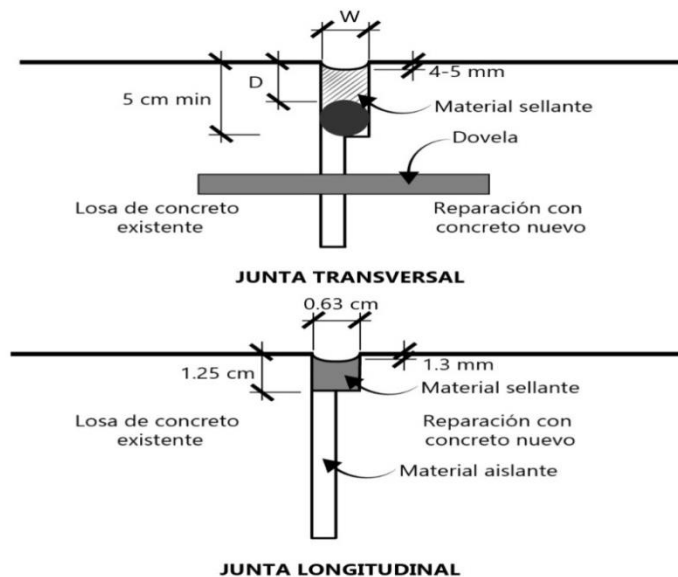
3.11.3.6. Curado y protección del concreto

Finalizadas las operaciones de acabado se realizará el curado, utilizando preferiblemente un compuesto de líquido formador de membrana pigmentado, cubriendo todo el concreto de la reparación con el compuesto en una proporción igual a la utilizada durante la construcción del pavimento o una de 0,15 a 0,2 L/m², proporcionando buenos resultados. Para las reparaciones de apertura rápida, se deberá curar inmediatamente después de acabar la superficie, siendo críticas las primeras horas. El curado se realizará con ayuda de cubiertas de aislamiento, permitiendo al concreto ganar resistencia rápidamente, aunque su eficacia varía según el material utilizado y las condiciones climáticas.

3.11.3.7. Corte y sellado de las nuevas juntas

El corte y sellado representan la última etapa en el proceso de reparación a profundidad total. La buena ejecución de estas operaciones proporcionará un buen comportamiento en los límites de la reparación, disminuyendo el desportillamiento. Las juntas se deberán cortar de acuerdo con el factor de forma que provea las condiciones adecuadas para alojar el sellante, posteriormente se limpiará la ranura de cualquier residuo y se colocará la esponja de respaldo del sello, por último se sellará la junta, moldeándola adecuadamente para que esta cumpla con la diferencia de altura entre el sello y la superficie del pavimento, además se limpiará cualquier exceso de sellante sobre el pavimento. En la junta longitudinal se deberá instalar una lámina de material incompresible previo al sellado. El objetivo de esta operación es el de evitar la adherencia entre la reparación y la losa vecina en sentido longitudinal.

Figura 56. **Diseño de la caja receptora del sellante para junta longitudinal y transversal**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator CC 2014.

3.12. Pavimentos de tránsito bajo

Todos aquellos caminos de baja importancia o calles residenciales donde los volúmenes de tránsito no son grandes, presentarán ciertas diferencias apreciables en su procedimiento de reparación, ya que se sabe que las fallas en un pavimento de concreto hidráulico no son originadas únicamente por el paso de vehículos, sino que hay distintos factores que tienen incidencia directa sobre el origen de los distintos tipos de deterioro. Al realizar una reparación en este tipo de pavimentos se deberán tener en consideración los siguientes aspectos:

- El ancho de la reparación será el necesario según las condiciones del pavimento, no siendo obligatorio que la reparación corresponda al ancho total del carril.
- Los cortes para el aislamiento del área deteriorada no se realizarán en la totalidad del espesor de la losa, bastará con realizar cortes con un máximo en profundidad de 1/3 del espesor de la losa.
- La sección aislada se podrá remover por izaje o por fracturado del concreto.
- Se podrá evitar el uso de barras de transferencia, siendo únicamente necesario para desarrollar la transferencia de carga entre losas la fricción entre agregados, realizando para esto un cincelado en las paredes de la reparación.

3.13. Apertura del tránsito

El control de apertura es de los aspectos más delicados en la construcción o reparación de un pavimento de concreto hidráulico. Los criterios utilizados para definir el momento de la apertura se basan en la resistencia mínima requerida y

en el tiempo mínimo especificado después de la colocación. Sin embargo, es preferible evaluar la resistencia mínima a compresión según el ensayo AASHTO T22, con ayuda de dispositivos portátiles de prueba de cilindros. Según la sección 502.14 la resistencia mínima que deberá presentar el concreto al momento de la apertura será de 25 Mpa en el caso de una reparación y de 24,5 Mpa para una construcción de pavimento. Las resistencias mínimas para apertura al tránsito según la ACPA se presentan en la siguiente tabla:

Tabla VII. **Resistencia mínima de apertura al tránsito para reparaciones a espesor total**

ESPESOR DE LOSA mm (in)	RESISTENCIA PARA ABRIR AL TRÁNSITO MPA (PSI)			
	Reparación menor (< 3m)		Reemplazo de losa	
	Compresión	Flexionante	Compresión	Flexionante
150 (6,0)	20,7 (3000)	3,4 (490)	24,8 (3600)	3,7 (540)
175 (7,0)	16,5 (2400)	2,6 (370)	18,6 (2700)	2,8 (410)
200 (8,0)	14,8 (2150)	2,3 (340)	14,8 (2150)	2,3 (340)
225 (9,0)	13,8 (2000)	1,9 (275)	13,8 (2000)	2,1 (300)
+250 (+10,0)	13,8 (2000)	1,7 (250)	13,8 (2000)	2,1 (300)

Fuente: American Concrete Pavement Association. *Guidelines For Full-Depth Repair*. P. 17

Algunas de las recomendaciones para la apertura del pavimento al tránsito son las siguientes:

- Estructura terminada al momento de la apertura.
- Juntas selladas. Si el material del sello aún se encuentra pegajoso no se podrá abrir al tránsito.
- Tomar las precauciones necesarias en cuanto al tránsito de construcción, controlando los tiempos de construcción y reparación.
- Usar materiales con desarrollo rápido de resistencia en vías principales, accesos críticos e intersecciones.

CONCLUSIONES

1. Se estableció una metodología que permite identificar tipos de fallas en los pavimentos de concreto hidráulico y elegir la operación de mantenimiento o corrección de la misma, evitando de esta manera la pronta reincidencia del deterioro.
2. Se determinó que se debe tener cuidado y una buena supervisión en los procedimientos que involucran al concreto al momento de la construcción, trabajando de forma ordenada y cuidando los tiempos de ejecución; así mismo, se debe inspeccionar el pavimento cada cierto tiempo para definir si requiere de operaciones que aumenten su capacidad estructural.
3. Las juntas son diseñadas y ejecutadas para controlar los agrietamientos excesivos, delimitar las áreas a reparar y lograr una transferencia de carga satisfactoria entre losas. Su mantenimiento es necesario para brindar protección al pavimento.
4. Se determinó que los tipos de deterioro que se presentan con más frecuencia en el pavimento son la fisuración y el agrietamiento, originados por problemas durante los procesos de construcción, corte tardío de juntas, espaciamiento de juntas inadecuado, baja capacidad de soporte de la base, entre otros.
5. Un buen control en los tiempos de mantenimiento y una buena ejecución de las reparaciones, traerán como resultado un aumento en la vida útil proyectada de la estructura y una mejora significativa en las condiciones

de servicio, dando a los usuarios la seguridad, comodidad y velocidad de desplazamiento necesarias.

RECOMENDACIONES

1. Supervisar de manera adecuada los procedimientos de construcción, evitando malas prácticas constructivas por parte del personal, y el uso de equipo en mal estado o inadecuado que pueda conducir a futuros deterioros del pavimento.
2. Controlar la modulación de las losas y la falta de continuidad de las juntas, evitando de esta manera agrietamientos en las losas y problemas de transferencia de carga.
3. Orientar a los encargados de diseñar y ejecutar las operaciones de rehabilitación a que no se debe realizar una reparación sin antes detectar la causa que provocó la falla.
4. Realizar las reparaciones a profundidad parcial y total, usando patrones cuadrados o rectangulares y tomando criterios para unir las reparaciones en los casos donde estas se encuentren cercanas.
5. Tener cuidado con el paso del tránsito de construcción sobre las losas recién construidas, ya que esto puede afectar en manera significativa su resistencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE DUARTE, Marco Tulio. *Operaciones de mantenimiento para carreteras con pavimentos de concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989.
2. American Concrete Pavement Association. *Guidelines for full-depth repair*. Illinois: ACPA, 1995. 19 p.
3. American Concrete Pavement Association. *Slab stabilization guidelines for concrete pavements*. Illinois: ACPA, 1994. 19 p.
4. BAL ARAGÓN, Víctor Santino. *Reparación de pavimentos de concreto con fallas a temprana edad*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 83 p.
5. BARRIOS BOLAÑOS, Walter Raúl. *Guía teórica y práctica del curso de pavimentos y mantenimiento de carreteras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 145 p.
6. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica. *M5.2. Catálogo de deterioros de pavimentos rígidos*. Chile: s.e., 2002.

7. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: DGC MCIV, 2001.
8. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. *Diseño y ejecución de juntas en pavimentos y soleras de hormigón*. Madrid: s.e., 2013.
9. JARAMILLO, Diego. *Evaluación y patología de pavimentos de concreto* [Presentación]. Guatemala 2012. 91 p.
10. LONDOÑO NARANJO, Cipriano; ALVAREZ PABÓN, Jorge. *Manual de diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. Colombia: ICPC, 2008. 114 p.
11. MONTEJO FONSECA, Alfonso. *Ingeniería de pavimentos para carreteras. Tomo I. 2ª ed.* Colombia: Stella Valbuena de Fierro, 2002. 733 p.
12. SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. México: IMCYC, 1998. 209 p.
13. Secretaría de integración económica centroamericana (SIECA). *Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales*. Guatemala: s.e., 2001.
14. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. *Distress identification manual for the long-term pavement performance program*. Virginia: s.e., 2003.

ANEXOS

Anexo 1. Instrucciones para realizar mapas de deterioros en pavimentos de concreto hidráulico

Durante las operaciones de inspección de deterioros en el pavimento, la seguridad es la principal consideración, así como la recolección de toda la información en campo. El objetivo de estas inspecciones es desarrollar mapas de deterioros mostrando de manera gráfica y a escala la localización de los diferentes tipos de deterioro presentes en la longitud del pavimento en estudio. Cualquier tipo de deterioro deberá ser clasificado con base en el manual de identificación de deterioros en uso.

El procedimiento consiste en ubicar una estación de inicio de la sección del pavimento en estudio y colocar una cinta métrica paralela al hombro, fijándola a la superficie de la manera que se considere adecuada, para posteriormente ubicar los deterioros en las hojas de mapas. Cada una de estas hojas contiene dos secciones de pavimento de 15,25 metros de longitud, lo que corresponde a una longitud total de 30,5 metros por hoja. Por tanto, al haber alcanzado esta distancia se procederá continuando la recolección de información en la siguiente hoja y de manera sucesiva hasta completar la longitud de pavimento a ser estudiada.

Los deterioros serán dibujados en los mapas usando los símbolos adecuados para cada tipo de deterioro y tipo de pavimento. En este caso la simbología a utilizar será para un pavimento de concreto hidráulico con juntas y sin refuerzo. Los deterioros serán etiquetados según su tipo y se les colocará la

inicial del nivel de severidad que concuerde con las características establecidas en el manual, correspondiendo “H” para un nivel alto, “M” para un nivel medio y “L” para un nivel bajo. Cualquier tipo de deterioro que no se encuentre definido en el manual será colocado en los comentarios de las hojas de recolección de datos.

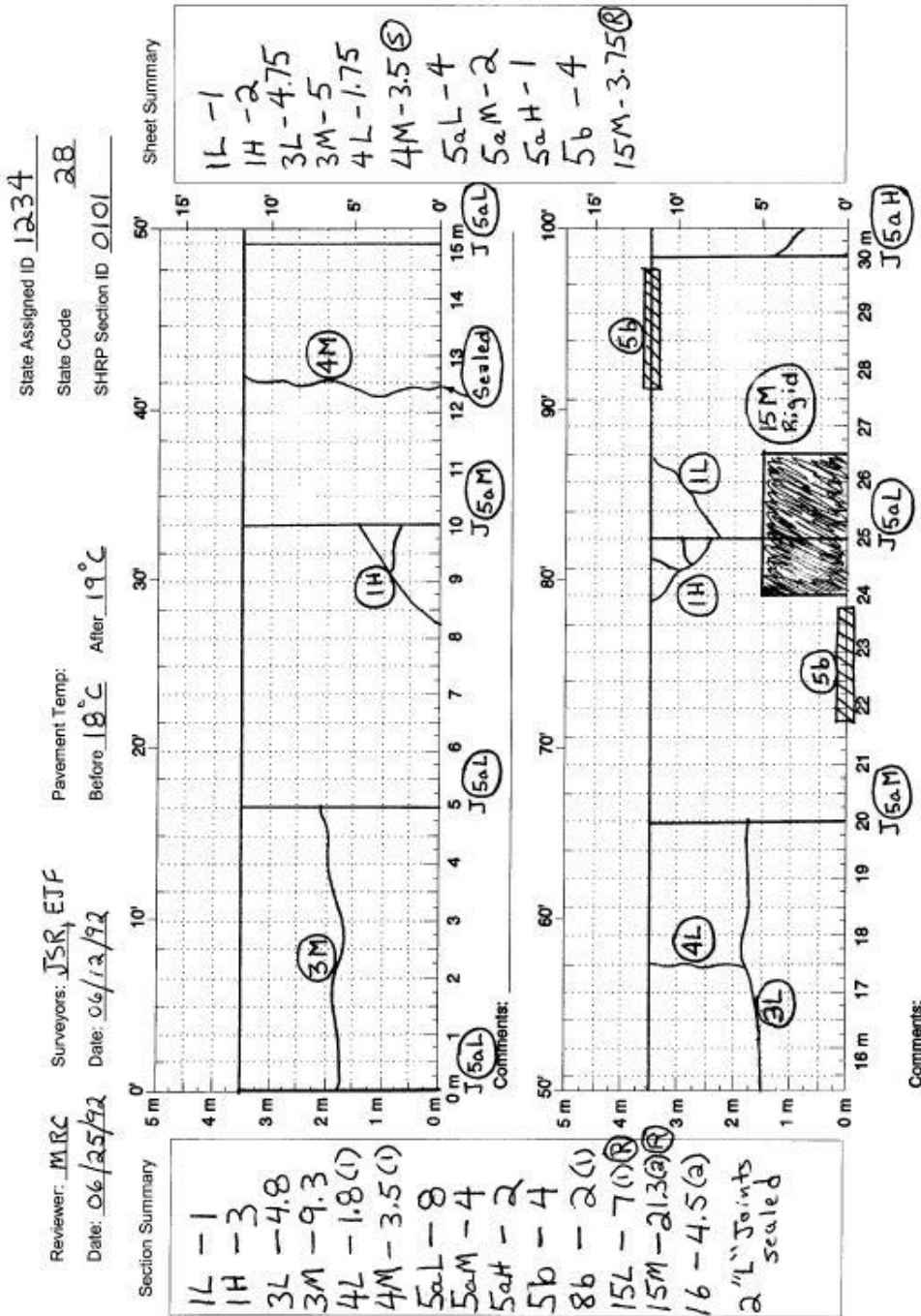
- Equipo: el equipo para recolección de datos en campo consistirá en lo siguiente:
 - Copia de las hojas para trazar el mapa de deterioros y formularios de estudio.
 - Termómetro para el pavimento.
 - Hojas y formularios extra.
 - Lápices.
 - Manual de identificación de deterioros.
 - Portapapeles.
 - Dos cintas métricas de al menos 30 metros de longitud y una regla graduada en milímetros.
 - Calculadora.
 - Gorra y vestuario de seguridad.
 - Cámara.

Anexo 2. Símbolos utilizados en los mapas de deterioros de pavimentos de concreto con juntas sin refuerzo

<u>Distress Type</u>	<u>Symbol</u>	<u>Distress Type</u>	<u>Symbol</u>
1. Corner Breaks (Number) L, M, H*		8a. Map Cracking 8b. Scaling (Square Meters)	
2. Durability "D" Cracking (Number of Affected Slabs) (Square Meters) L, M, H*		9. Polished Aggregate (Square Meters) No severity levels	
3. Longitudinal Cracking (Meters) L, M, H* S - Sealed		10. Popouts (Number) No severity levels Not measured in LTPP Surveys	
4. Transverse Cracking (No. of Cracks and Length (Meters)) L, M, H*		11. Blowups (Number) No severity levels	
5a. Joint Seal Damage of Transverse Joints (Number) L, M, H*		12. Faulting of Transverse Joints and Cracks**	
5b. Joint Seal Damage of Longitudinal Joints (Meters)		13. Lane - to - Shoulder Dropoff**	
6. Spalling of Longitudinal Joints (Meters) L, M, H*		14. Lane - to - Shoulder Separation**	
7. Spalling of Transverse Joints (Number of Joints and Length(Meters)) L, M, H*		15. Patch/Patch Deterioration (Square Meters and Number) L, M, H* F - Flexible R - Rigid	
		16. Water Bleeding and Pumping (Number of Occurrences and Length of Affected Pavement (Meters)) No severity levels	

Fuente: U.S. Department of Transportation. *Federal Highway Administration. Distress identification manual for the long-term pavement performance program.* P 94

Anexo 3. Ejemplo de aplicación de hojas de mapeo de deterioros en pavimentos de concreto hidráulico con juntas y sin refuerzo

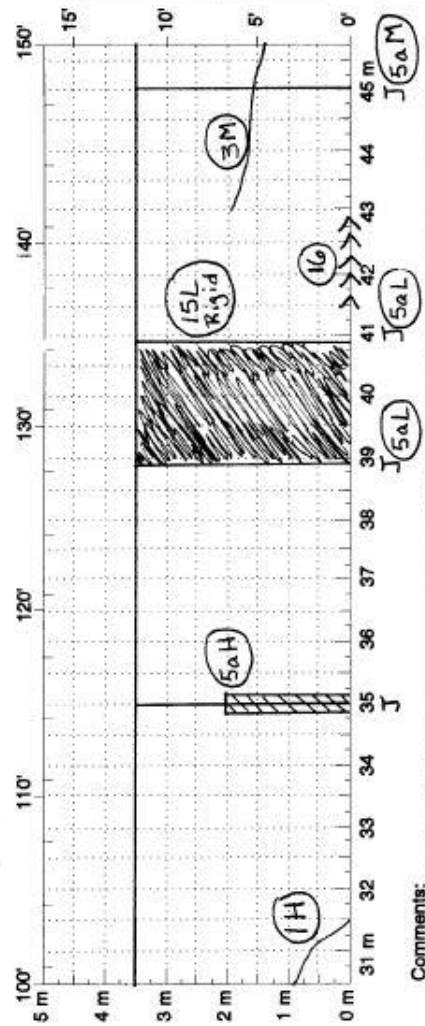


Fuente: U.S. Department of Transportation. *Federal Highway Administration. Distress identification manual for the long-term pavement performance program.* P 100

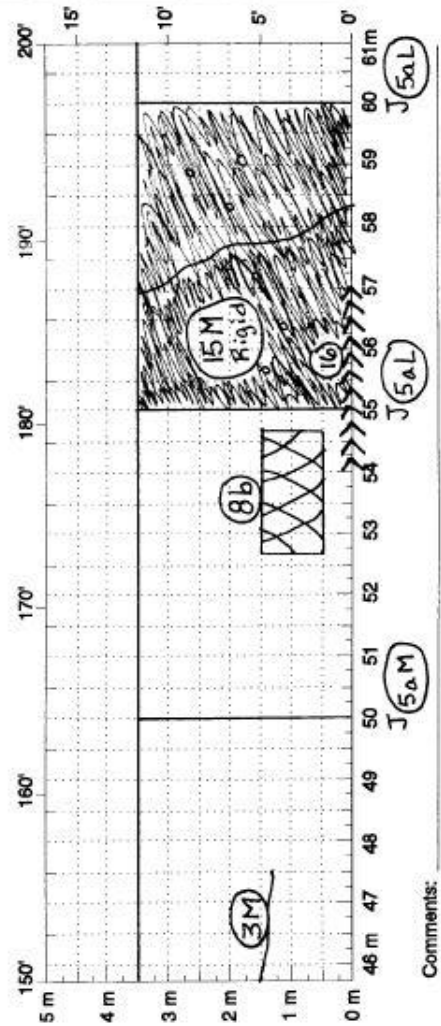
State Assigned ID 1234
 State Code 28
 SHRP Section ID 0101

Reviewer: MRC Surveyors: JSR, EJJ
 Date: 06/25/92

Sheet Summary
 1H-1
 3M-4.25
 5aL-4
 5aM-2
 5aH-1
 8b-2
 15L-7(R)
 15M-17.5(R)
 16-4.5(a)



Comments:



Comments:

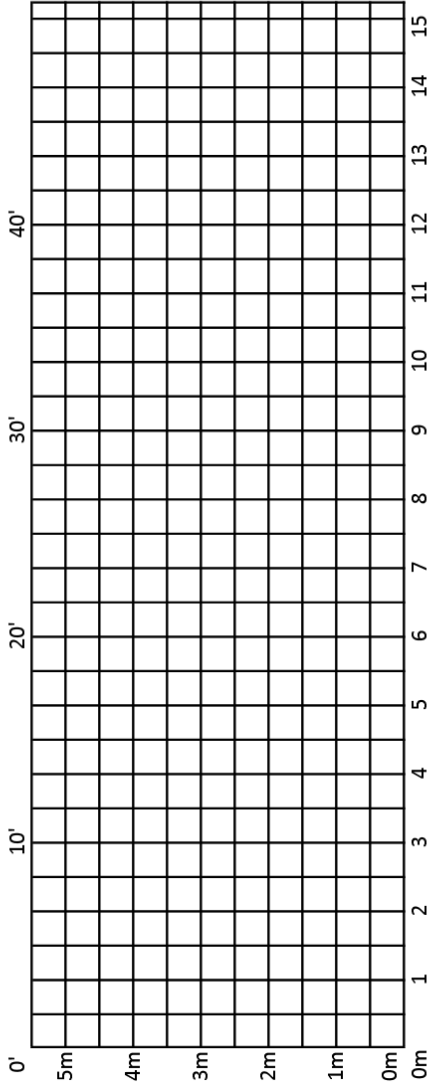
Fuente: U.S. Department of Transportation. *Federal Highway Administration. Distress identification manual for the long-term pavement performance program.* P 101.

Anexo 4. **Hojas en blanco para la recolección de datos**

- Hoja de datos número 4: esta hoja de datos provee el espacio necesario para registrar los valores de cada tipo de deterioro. Las unidades para cuantificar el daño según el nivel de severidad y el tipo de deterioro están ubicadas en la columna izquierda de la hoja. Si en el manual de clasificación no se contempla un nivel de severidad para determinado tipo de deterioro, se usará un “0” para indicar que no son aplicables.
- Hoja de datos número 5: esta hoja es una continuación de la hoja número 4, proveyendo el espacio necesario para recolectar la información de otros tipos de deterioros no encontrados en la hoja 4, además se provee un espacio adicional en la parte inferior de la hoja para describir y clasificar cualquier otro tipo de deterioro que no se presente en las hojas 4 y 5.
- Hoja de datos número 6: esta hoja provee espacio para registrar información de falla de cada junta y grieta transversal.
- Hoja de datos número 7: esta hoja es usada para registrar el desnivel y la separación entre el carril y el hombro. El desnivel es medido como la diferencia de elevación entre el carril y el hombro del pavimento. Estas mediciones son tomadas al principio de la recolección de datos en las hojas de mapas y en intervalos de 15,25 metros. Si hay presente un desnivel o separación, este valor será colocado en los espacios destinados para esta acción, de lo contrario se colocará 0 si no hay separación ni desnivel.

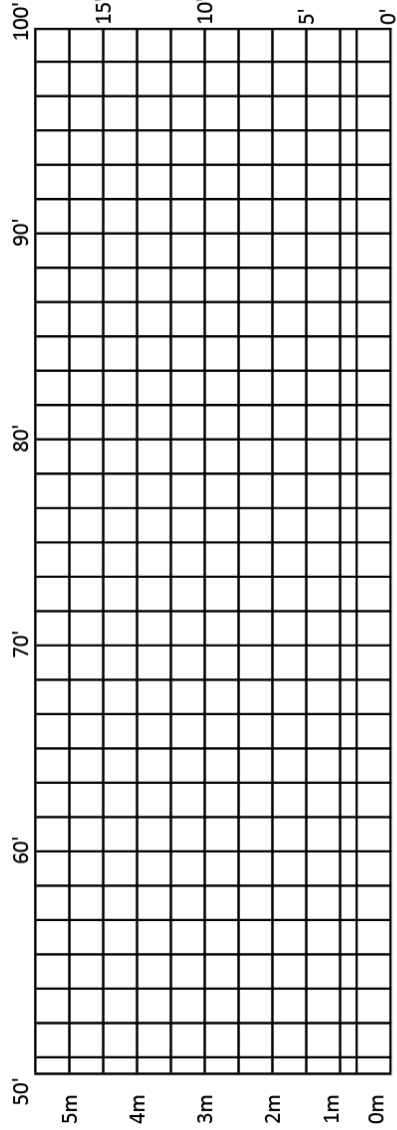
Revisor: _____ Inspector: _____ Temperatura del pavimento: _____
 Fecha: _____ Antes: _____ Después: _____

Resumen de sección



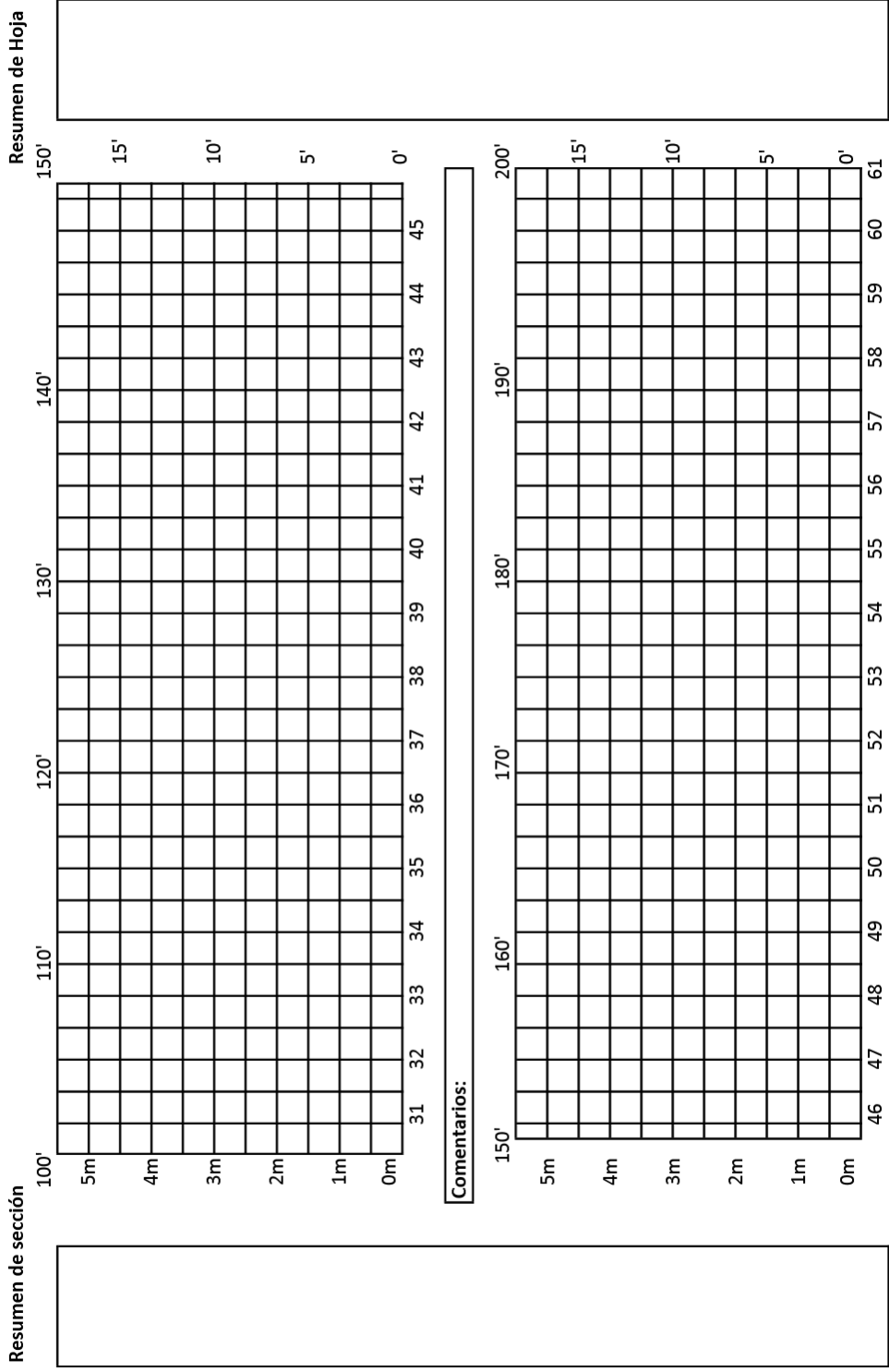
Resumen de Hoja

Comentarios:



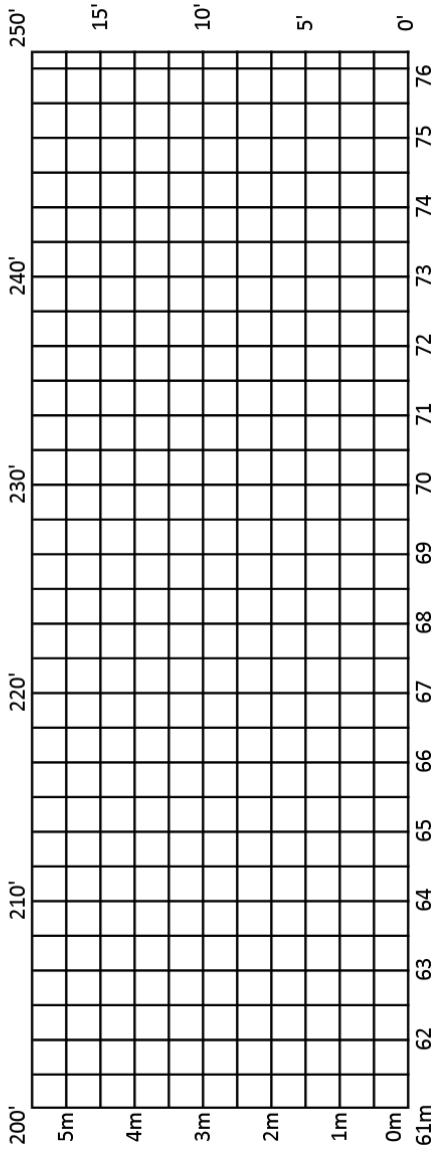
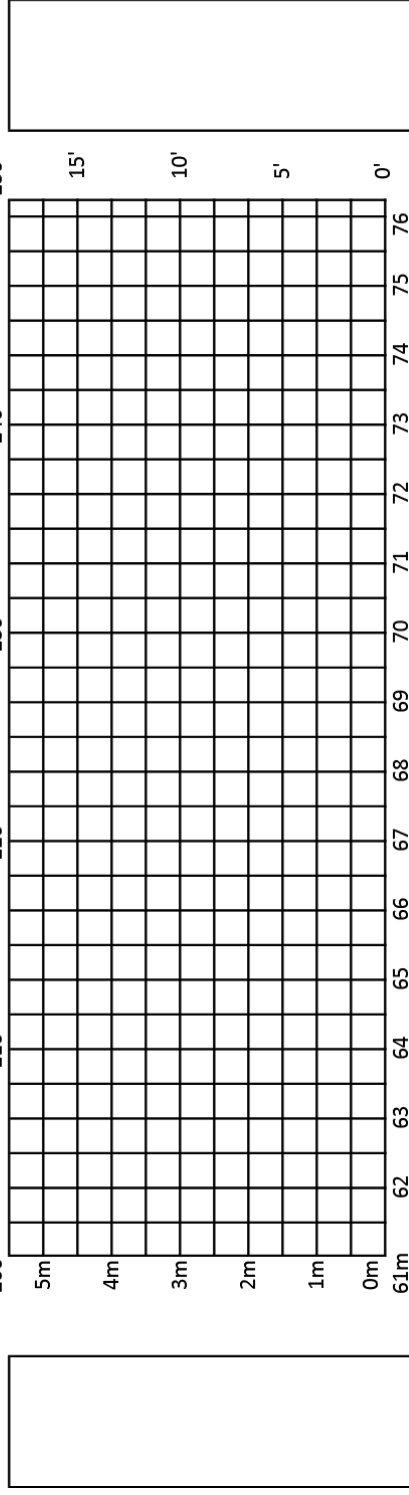
Comentarios:

Revisor: _____ Inspector: _____ Temperatura del pavimento: _____
 Fecha: _____ Antes: _____ Después: _____

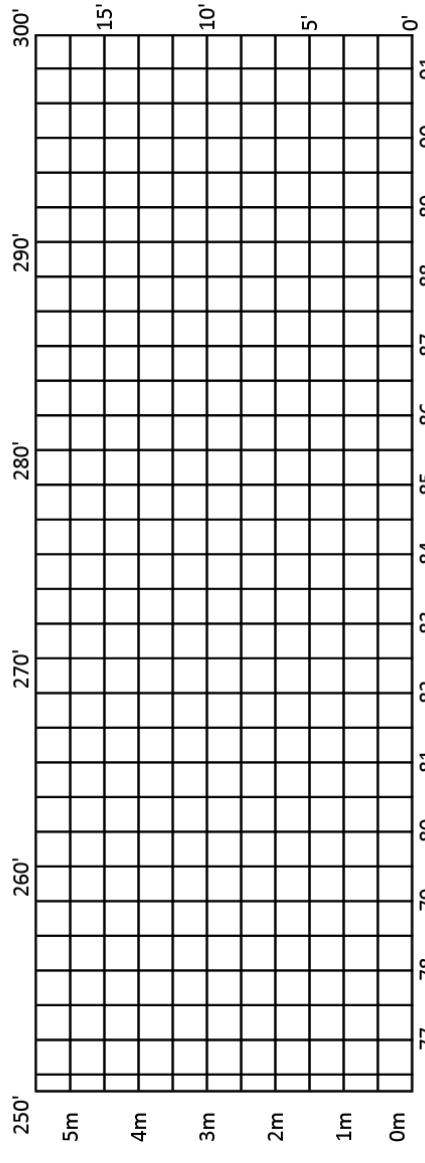


Revisor: _____ Inspector: _____ Temperatura del pavimento: _____
 Fecha: _____ Fecha: _____ Antes: _____ Después: _____

Resumen de sección Resumen de Hoja



Comentarios: _____



Comentarios: _____

ANÁLISIS DE DETERIORO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO
DE CEMENTO PORTLAND CON JUNTAS

FECHA DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS _____

REVISORES:

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE ANTES _____ °C DESPUÉS _____ °C
FOTOS, VIDEO O AMBOS EN RECOLECCIÓN (F,V,A)

TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD		
	BAJO	MODERADO	ALTO
AGRIETAMIENTO			
1 GRIETA DE ESQUINA (Número)	_____	_____	_____
2 AGRIETAMIENTO POR DURABILIDAD (Número de losas afectadas) (Metros cuadrados)	_____ _____	_____ _____	_____ _____
3 AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL (Metros) Longitud sellada (Metros)	_____ _____	_____ _____	_____ _____
4 AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL (Número de grietas) (Metros) Longitud sellada (Metros)	_____ _____ _____	_____ _____ _____	_____ _____ _____
DEFICIENCIAS EN JUNTAS			
5a. DAÑO EN SELLO DE JUNTA TRANSVERSAL Sellado (Sí, No), "Si" indicar número de juntas	_____	_____	_____
5b. DAÑO EN SELLO DE JUNTA LONGITUDINAL Longitud de juntas con daño en sello (Metros)	_____	_____	_____
6 DESPORTILLAMIENTO JUNTA LONGITUDINAL (Metros)	_____	_____	_____
7 DESPORTILLAMIENTO JUNTA TRASVERSAL Número de juntas afectadas Longitud desportillada (Metros)	_____ _____	_____ _____	_____ _____

ANÁLISIS DE DETERIORO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO
DE CEMENTO PORTLAND CON JUNTAS
(CONTINUACIÓN)

FECHA DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS _____
REVISORES:

TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD		
	BAJO	MODERADO	ALTO
DEFORMACIÓN SUPERFICIAL			
8a. GRIETAS MAPEADAS (Número) (Metros cuadrados)	_____	_____	_____
8b. ESCALONAMIENTO (Metros cuadrados)	_____	_____	_____
9 SUPERFICIE PULIMENTADA (Metros cuadrados)	_____	_____	_____
10 PERDIDA PUNTUAL	_____	_____	_____
OTROS TIPOS DE DETERIORO			
11 DAÑO EN SELLO DE JUNTA TRANSVERSAL Sellado (Si, No), "Si" indicar número de juntas	_____	_____	_____
12 FALLAS EN JUNTAS Y GRIETAS		Referido a HOJA 6	
13 ESCALONAMIENTO DE JUNTA ENTRE CARRIL Y HOMBRO		Referido a HOJA 7	
14 SEPARACIÓN DE JUNTA ENTRE CARRIL Y HOMBRO		Referido a HOJA 7	
15 REPARACIÓN DETERIORADA (Número) (Metros cuadrados)	_____	_____	_____
16 BOMBEO (Número de incidencias) Longitud afectada (Metros)	_____	_____	_____
17 OTROS (Descripción)	_____		

ANÁLISIS DE DETERIORO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO
DE CEMENTO PORTLAND CON JUNTAS
(CONTINUACIÓN)

FECHA DE LA RECOLECCIÓN DE DATOS _____
REVISORES:

13 HUNDIMIENTO DE JUNTA VÍA-HOMBRO

14 SEPARACIÓN DE JUNTA VÍA-HOMBRO

Punto No.	Distancia del Punto (m)	Hundimiento de la junta vía-hombro (mm)	Separación de la junta vía-hombro (mm)	Bien sellado (Si/No)
1	0.00	_____	_____	_____
2	15.25	_____	_____	_____
3	30.50	_____	_____	_____
4	45.75	_____	_____	_____
5	61.00	_____	_____	_____
6	76.25	_____	_____	_____
7	91.50	_____	_____	_____
8	106.75	_____	_____	_____
9	122.00	_____	_____	_____
10	137.25	_____	_____	_____
11	152.50	_____	_____	_____

Nota 1: La distancia desde el punto es medida desde el inicio de la sección a examinar a la ubicación de la medida. los valores mostrados son S1 y equivalen a un espaciamiento de 50 ft usado en recolecciones anteriores.

Nota 2: Si el levantamiento del hombro ocurre (hacia arriba), registrar como valor negativo (-). No es necesario registrar los valores positivos con signo (+), se asumirá únicamente el valor positivo.

