



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

**SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PRINCIPALES PAVIMENTOS
CONSTRUIDOS CON EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS**

Ing. Luis Fernando Quijada Beza

Asesorado por el MSc. Ing. Luis Rolando Román Ávila

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PRINCIPALES PAVIMENTOS
CONSTRUIDOS CON EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. LUIS FERNANDO QUIJADA BEZA

ASESORADO POR EL MSC. ING. LUIS ROLANDO ROMÁN ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERÍA VIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	MSc. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	MSc. Carlos Arnoldo Morales Rosales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PRINCIPALES PAVIMENTOS CONSTRUIDOS CON EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrados, con fecha enero de 2012.


Ing. Luis Fernando Quijada Beza



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Vial, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **“SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PRINCIPALES PAVIMENTOS CONSTRUIDOS CON EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS”**, presentado por el Ingeniero Civil **Luis Fernando Quijada Beza**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Msc. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2012.

Cc: archivo
/la



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Ingeniería Vial del trabajo de tesis de graduación titulado **SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PRINCIPALES PAVIMENTOS CONSTRUIDOS CON EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS**. Presentado por el Ingeniero Civil **Luis Fernando Quijada Beza**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, noviembre de 2012.

Cc: archivo
/la



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado

La Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **“SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PRINCIPALES PAVIMENTOS CONSTRUIDOS CON EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS”** presentado por el Ingeniero Civil **Luis Fernando Quijada Beza**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora

Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2012.

Cc: archivo
/la



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 Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Ingeniería Vial titulado: **“SEGUIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PRINCIPALES PAVIMENTOS CONSTRUIDOS CON EL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS”**, presentado por el Ingeniero Civil **Luis Fernando Quijada Beza**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre de 2012.

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres	Félix Quijada Heredia (q.e.p.d.) y Linda Arely Beza de Quijada (q.e.p.d.)
Mi esposa	Dirza Mariela Sosa Leiva de Quijada
Mis hermanas	Dra. María José Quijada Beza y Engracia María Quijada Beza
Mis amigos y compañeros	
Usted en especial	

AGRADECIMIENTOS A:

Dios todo poderoso

Una vez más, por darme la oportunidad de alcanzar otra de mis metas.

Mi asesor

Ing. MSc. Luis Rolando Román, por su valiosa asesoría en la realización de este trabajo de graduación

RECONOCIMIENTOS A:

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Todas las personas que me apoyaron y colaboraron para que el trabajo de graduación fuera realizado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Descripción general de los pavimentos	1
1.1.1. Pavimento	1
1.1.1.1. Terreno de fundación	2
1.1.1.2. Material resistente (bases y subbases) ..	2
1.1.1.3. Material ligante	2
1.1.1.4. Superficie de rodadura	3
1.1.2. Tipos de pavimento	3
1.1.2.1. Pavimento de concreto hidráulico	4
1.1.2.1.1. Características principales del Pavimento de Concreto Hidráulico (PCH)	5
1.1.2.1.2. Factores principales de funcionalidad de los Pavimentos de Concreto Hidráulico (PCH)	5
1.1.2.1.2.1. Tráfico	6

	1.1.2.1.2.2.	Clima	6
	1.1.2.1.2.3.	Geometría del proyecto (diseño vial)	7
	1.1.2.1.2.4.	Posición de la estructura.....	7
	1.1.2.1.2.5.	Construcción y mantenimiento	7
1.1.3.		Diseño de Pavimentos de Concreto Hidráulico (PCH) con métodos alternativos	8
1.1.4.		Características de refuerzo estructural para pavimentos hidráulicos con métodos alternativos	9
	1.1.4.1.	Pavimentos de Concreto Hidráulico Simple (PCH S)	9
	1.1.4.1.1.	Método constructivo de losas cortas	11
	1.1.4.1.2.	Método de diseño PCA	19
	1.1.4.1.3.	Método de diseño AASHTO.....	20
	1.1.4.2.	Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo de Acero (PCH RA)	20
	1.1.4.3.	Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo Continúo (PCH RC).....	21
	1.1.4.4.	Pavimentos de Concreto Hidráulico Pre o Postensado (PCH PP)	22
	1.1.4.5.	Pavimentos de Concreto Hidráulico Reforzado con Fibras (PCH RF)	23
1.2.		Especificaciones para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico	23

1.2.1.	Métodos constructivos y sus especificaciones de construcción.....	23
1.2.2.	Especificaciones para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico	24
1.2.2.1.	Subrasante o explanada	25
1.2.2.1.1.	Características de los materiales de subrasante o explanada	25
1.2.2.1.2.	Características de compactación para subrasante o explanada	26
1.2.2.2.	Subbase.....	27
1.2.2.2.1.	Características de los materiales para subbase	27
1.2.2.2.2.	Compactación	28
1.2.2.3.	Base.....	29
1.2.2.3.1.	Base granular	29
1.2.2.3.2.	Base triturada	29
1.2.2.3.3.	Materiales	30
1.2.2.3.4.	Compactación	31
1.2.2.4.	Base estabilizada	31
1.2.2.4.1.	Compactación	33
1.2.2.5.	Especificaciones para concreto.....	34
1.2.2.5.1.	Cementos hidráulicos	34
1.2.2.5.2.	Agregado fino	35
1.2.2.5.3.	Agregado grueso.....	35

1.2.2.5.4.	Agua	35
1.2.2.5.5.	Aditivos	36
1.2.2.5.5.1.	Aditivos incorporadores o inclusores de aire	37
1.2.2.5.5.2.	Aditivos retardantes	37
1.2.2.5.5.3.	Aditivos acelerantes	37
1.2.2.5.5.4.	Aditivos reductores de agua, reductores de agua y retardantes, reductores de agua y acelerantes, reductores de agua de alto rango y reductores de agua de alto rango y retardantes	38
1.2.2.5.5.5.	Aditivos plastificantes y retardantes	38
1.2.2.5.5.5.1.	Cloruro de calcio	39
1.2.2.5.5.5.2.	Ceniza volante de carbón y otras puzolanas naturales o artificiales ...	39
1.2.2.5.5.5.3.	Escoria granulada de alto horno	39
1.2.2.5.5.5.4.	Humo de sílice (o microsílice)	40
1.2.2.5.5.5.	Aditivos expansivos y reductores de contracción	40

	1.2.2.5.6.	Requisitos para la clase y resistencia del concreto	41
1.2.3.		Fallas estructurales y sus causas en losas de pavimento hidráulico	41
	1.2.3.1.	Falla por alabeo	42
	1.2.3.2.	Fallas en juntas (de esquina)	45
	1.2.3.3.	Falla por choque entre losas	46
	1.2.3.4.	Falla a corte longitudinal o transversal	46
	1.2.3.5.	Falla por asentamiento de losas	47
	1.2.3.6.	Falla por desplazamiento de losas longitudinal o transversal.....	48
	1.2.3.7.	Erosión y desgaste de superficie	48
	1.2.3.8.	Pérdida de reflectividad	49
2.		LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS OBJETO DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN	51
2.1.		Localización y descripción de los tramos carreteros objeto de seguimiento	53
	2.1.1.	Rehabilitación CA-1 OCC Tecpan - Los Encuentros.....	53
	2.1.2.	Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente.....	54
	2.1.3.	Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez - Santa Lucia Milpas Altas	56
	2.1.4.	Rehabilitación CA-9 sur Amatitlan – Palín Escuintla	57

2.1.5.	Rehabilitación CA-1 oriente Pueblo Nuevo Viñas - El Cernal.....	58
2.2.	Tipos y características constructivas de los pavimentos bajo seguimiento.....	59
2.2.1.	Rehabilitación CA-1 OCC Tecpan – Los Encuentros	60
2.2.2.	CA-9 sur autopista Escuintla – Puerto Quetzal	60
2.2.3.	Rehabilitación CA-9 norte Guatemala – Agua Caliente	61
2.2.4.	Rehabilitación CA-1 occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez - Santa Lucia Milpas Altas.....	62
2.2.5.	Rehabilitación CA-9 sur Amatitlan – Palin Escuintla.....	62
2.2.6.	Rehabilitación CA-9 oriente Pueblo Nuevo Viñas - El Cernal, Barberena, Santa Rosa	63
3.	SEGUIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO Y SU CONDICIÓN FÍSICA A FEBRERO DE 2012.....	65
3.1.	Antecedentes	65
3.1.1.	Respecto al método constructivo.....	65
3.1.2.	Respecto a características de falla antes mencionadas	66
3.2.	Condición actual de los pavimentos bajo seguimiento.....	66
3.2.1.	Descripción de las condiciones físicas.....	66
3.2.2.	Condición respecto al tiempo de servicio prestado	70
3.2.3.	Condición según fallas localizadas en tramo de evaluación	71

3.3.	Análisis de datos obtenidos en evaluación física de los pavimentos	72
3.3.1.	Registros anteriores de los pavimentos bajo seguimiento	72
3.3.2.	Condición según evaluación actual	75
3.3.3.	Análisis del comportamiento de deterioro de los pavimentos durante el período de evaluación	79
4.	INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SEGUIMIENTO	81
4.1.	Generalidades	81
4.2.	Análisis de los métodos constructivos empleados en los pavimentos bajo seguimiento	81
4.2.1.	Método constructivo para Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo Estructural (PCH RA)	82
4.2.2.	Método constructivo de losas cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico sin elementos de transferencia (PCH S)	83
4.3.	Análisis sobre la utilización de pavimentos de concreto hidráulico como pavimentos durables	84
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES	89
	REFERENCIAS	91
	BIBLIOGRAFÍA	93
	ANEXOS.	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Componentes estructurales de pavimentos asfálticos y concreto hidráulico	4
2.	Detalle de pavimentos con elementos de transferencia de carga o pasadores	10
3.	Detalle de pavimentos sin elementos de transferencia de carga	11
4.	Alabeo en losas debido al gradiente térmico	12
5.	Forma inicial en que actúan las fuerzas en el alabeo en losas tradicionales	13
6.	Forma en que actúan la fuerzas en el alabeo con el nuevo dimensionamiento de losas y su longitud	14
7.	Ubicación de la deformación por alabeo en losas largas o tradicionales	14
8.	Ubicación de la deformación por alabeo en las losas cortas	15
9.	Ubicación del punto de falla a corte provocada por la deformación por alabeo	15
10.	Comportamiento de agrietamiento en losas en función de la longitud	17
11.	Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas largas o tradicionales rectangulares	18
12.	Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas cortas cuadradas de 175 a 180 cm	18
13.	Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo continuo	22

14.	Efecto de falla generado por la aplicación de cargas vehiculares con existencia de alabeo	43
15.	Efecto de falla generados por la aplicación de cargas vehiculares con existencia de alabeo	44
16.	Zona de falla en juntas de continuidad constructiva del pavimento	45
17.	Forma en que se presenta la falla a corte longitudinal o transversal ..	47
18.	Falla característica de asentamiento en losas	48
19.	Localización general de los pavimentos en evaluación.....	52
20.	Rehabilitación CA-1 OCC Tecpan - Los Encuentros.....	53
21.	CA-9 Sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	54
22.	Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	55
23.	Rehabilitación CA-1 OCC Ciudad San Cristóbal-San Lucas Sacatepéquez - Santa Lucia Milpas Altas.....	56
24.	Rehabilitación CA-1 OCC Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepéquez - Santa Lucia Milpas Altas.....	57
25.	Rehabilitación CA-9 sur Amatitlan – Palin.....	58
26.	Rehabilitación CA-9 oriente Pueblo Nuevo Viñas – Cerinal	59
27.	Gráfico del comportamiento del análisis de deterioro.....	78
28.	Análisis comparativo de inversión versus tiempo entre estructura durable y no durable	85

TABLAS

I.	Características rehabilitación CA-1 OCC Tecpan – Los Encuentros	60
II.	Características autopista Escuintla - Puerto Quetzal	61
III.	Características rehabilitación CA-9 norte Guatemala – Agua Caliente	61
IV.	Características rehabilitación CA-1 occidente Ciudad San Cristóbal-San Lucas Sacatepéquez-Santa Lucia Milpas Altas	62

V.	Características Rehabilitación CA-9 sur Amatitlan - Palin Escuintla	63
VI.	Características rehabilitación CA-9 oriente Pueblo Nuevo Viñas - El Cerinal	63
VII.	Clasificación del grado de deterioro en función del número de fallas localizadas	67
VIII.	Condiciones estructurales, de diseño, y método constructivo	69
IX.	Condición actual según tiempo de servicio	70
X.	Condición actual según fallas presentes localizadas	71
XI.	Características generales de fallas localizadas en pavimentos de evaluación (antecedentes en estudio inicial)	73
XII.	Clasificación del grado de deterioro de pavimentos objeto de evaluación en función de la edad del pavimento (antecedentes en estudio inicial)	74
XIII.	Condición actual según fallas presentes localizadas	75
XIV.	Condición actual según tiempo de servicio	76
XV.	Análisis de deterioro según períodos de evaluación	77
XVI.	Análisis comparativo del deterioro de los pavimentos según el período de evaluación actual	79

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ø	Diámetro
µm	Micrómetro ($1 \times 10^{-6} \text{ m}$)
Mm	Milímetro
Kg	Kilogramo
M	Metro
"	Pulgada
%	Porcentaje
Σ	Esfuerzos
M	Módulo de Poisson
α _t	Coefficiente de expansión térmica
E	Módulo de elasticidad del concreto

GLOSARIO

Aglutinante

Sustancia empleada para la unión de elementos o materiales, en el caso de pavimentos se refiere a los bitúmenes empleados en mezclas asfálticas o cemento en el caso de pavimentos hidráulicos.

Agregados

Son los componentes no activos en la mezcla de concreto que se combinan para dar masa y resistencia, conocidos como agregados finos (arenas), agregado grueso (derivados de roca), formando parte fundamental para los cálculos en la mezcla del concreto.

Aquaplaning

Estancamientos de agua en la superficie de la carretera, provocados por altas precipitaciones de lluvia y ausencia o mal bombeo en la sección transversal de la carretera.

Árido

Término empleado como sinónimo de agregado.

ASTM	Siglas en inglés que corresponden a la entidad AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (Sociedad americana para pruebas y materiales).
ESAL	Cargas equivalentes de ejes sencillos estándar de 8,2 toneladas.
Firme	Término que hace referencia a la estructura completa del pavimento, incluyendo la composición de todas las capas que lo componen.
Hormigón	Mezcla de agregados graduados, cemento y agua, conocido como también concreto hidráulico.
IRI	International Roughness index, o el índice Internacional de Rugosidad.
PCA	Portland Cement Association, o Asociación de Cemento Portland.
Performance	Rendimiento o entiéndase también el desempeño.
Pumping	Término que hace referencia al bombeo transversal de diseño de los pavimentos.

SIECA

Secretaría de Integración Económica de
Centro América.

TPDA

Tránsito Promedio Diario Anual.

RESUMEN

El presente informe contiene el seguimiento realizado a los principales pavimentos de concreto hidráulico en Guatemala, pavimentos que han construido su carpeta de rodadura utilizando el método de losas, inicialmente se realiza la descripción teórica de los pavimentos de concreto hidráulico, y su reglamentación constructiva, la cual resulta ser aplicable a todos los pavimentos de este tipo, estableciendo como principal diferencia en este tipo de pavimentos, el dimensionamiento de losas y el tipo de refuerzo estructural.

Dentro del marco teórico se hace referencia directamente del concepto general respecto a la distribución de cargas vehiculares por losa, ventaja característica del método constructivo de losas cortas, esperando que en ningún momento pueda estar más de un eje vehicular sobre una losa.

Se establece la ubicación y localización de los pavimentos que han sido objeto de seguimiento, así como la ubicación puntual a nivel kilométrico del tramo carretero evaluado para poder dar seguimiento posterior a la publicación de este informe, se incluye la ubicación cartográfica de cada uno de los tramos bajo seguimiento, los cuales resultan estar localizados radialmente hacia afuera de la capital de Guatemala.

Finalmente se realiza el análisis comparativo de datos actualizados, y de registros previos del deterioro de los pavimentos bajo seguimiento, análisis que refleja un deterioro prematuro en los pavimentos, en los cuales se ha empleado el método constructivo de losas cortas, lo cual sugiere que se deje de emplear dicho método para la construcción de pavimentos hidráulicos.

OBJETIVOS

General

Realizar el seguimiento del comportamiento físico y de deterioro presentado por los principales pavimentos en los que se ha empleado como método constructivo, losas cortas en Guatemala.

Específicos

1. Crear registros de ubicación y clasificación de los principales pavimentos, en los cuales se ha empleado el método constructivo de losas cortas, en función de su importancia, considerando la incidencia en la economía y tránsito en la red vial de Guatemala.
2. Establecer con los datos obtenidos en las evaluaciones de campo, un nuevo registro del comportamiento que presentan los pavimentos construidos con dicho método constructivo.
3. Generar según condiciones actuales, la evaluación y seguimiento, creando las conclusiones y recomendaciones que para el caso corresponda, y sugerir la viabilidad del método constructivo, estableciendo sus ventajas y desventajas.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación realiza el seguimiento del comportamiento físico de deterioro que presenta un conjunto de pavimentos construidos en Guatemala con el método constructivo de losas cortas, dando a conocer en el inicio del trabajo las características teóricas de los pavimentos de concreto hidráulico, desde el punto de vista de los métodos de diseño, características constructivas, y de control de calidad de los mismos.

Se establece la ubicación y localización de los pavimentos que son objeto de seguimiento para la elaboración de este trabajo, y en los cuales se ha puesto en práctica el método constructivo; se exponen los resultados de evaluaciones visuales para cada uno de los pavimentos, estableciendo el grado de deterioro que presentan desde su construcción, inicio de servicio, o bien desde la última evaluación realizada.

Se realiza el análisis comparativo del comportamiento de deterioro de los pavimentos según datos de las condiciones actuales, y las referencias de registros anteriores; el análisis contempla como base de evaluación; las fallas existentes y su comportamiento en el tiempo, como resultado se realizan las observaciones de cada pavimento en particular, realizando las recomendaciones y conclusiones del análisis realizado.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hará la descripción teórica y mecánica de los principales métodos constructivos de pavimentos de concreto hidráulico, haciendo hincapié en el método de losas cortas; su origen, aplicación, especificaciones que rigen su ejecución, y las características generales para la utilización de este método en los pavimentos de alta solicitud de tránsito vehicular.

1.1. Descripción general de los pavimentos

Los pavimentos, son estructuras integrales de capas de subrasante, subbase, base y carpeta, colocado encima de la rasante y destinada a sostener las cargas vehiculares (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, p. xvii)

1.1.1. Pavimento

Es una estructura que combina capas de agregados con diferentes granulometrías y resistencia creciente hacia la superficie de rodadura, colocada sobre un terreno de fundación resistente a la aplicación de cargas, cambios de clima, y resistencia a efectos de abrasión inducidos por el tránsito (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 1).

Generalmente los pavimentos están compuestos por distintas capas de agregados con granulometrías específicas, de acuerdo a su función estructural,

con materiales resistentes según su función, y dependiendo del tipo de pavimento, la posible utilización de materiales bituminosos o de liga. Adicionalmente, deben considerarse los siguientes componentes en la estructura general del pavimento:

1.1.1.1. Terreno de fundación

Es el terreno debidamente acondicionado, libre de contaminantes y materia orgánica para garantizar la construcción del pavimento y controlado respecto a sus características mecánicas, sobre el cual se construirá la estructura del pavimento.

1.1.1.2. Material resistente (bases y subbases)

Material inerte, resistente a los esfuerzos que se producen en la estructura, generalmente constituido por piedra o constitutivos de ella (piedra triturada, arena o polvo de piedra).

1.1.1.3. Material ligante

Material de liga, que relaciona entre sí a los elementos resistentes proporcionándoles la necesaria cohesión (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 2).

Puede ser un constitutivo del suelo, como la arcilla, o un aglutinante por reacción química, como la cal o el cemento; o en su defecto, un material bituminoso.

1.1.1.4. Superficie de rodadura

Estructura constituida por diferentes materiales, comúnmente agregados de diferentes granulometrías ligados entre si por aglutinantes, cemento o materiales bituminosos, destinada a soportar y transmitir de forma directa las cargas peatonales o vehiculares, para los cuales se creó el pavimento (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 2).

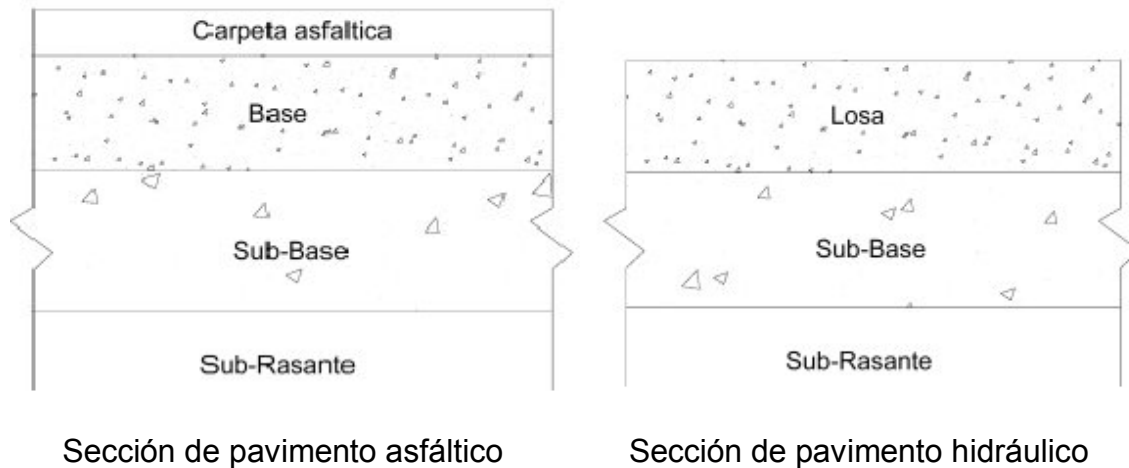
1.1.2. Tipos de pavimento

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles carga es muy diferente (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 1); por tal motivo hay varios tipos, los cuales se describen a continuación.

- Pavimentos Asfálticos (PA).
- Pavimentos de Concreto Hidráulico (PCH).
- Pavimentos compuestos (mixtos).
- Pavimentos de avanzada tecnológica: a carga plena (base emulsionada total); a resistencia profunda (base + base emulsionada).
- Pavimentos adoquinados.
- Otros que dependen del material, características estructurales y proceso de constructivo.

En Guatemala de forma común se emplea la construcción de estructuras de pavimentos asfálticos e hidráulicos, ver figura 1 (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 2).

Figura 1. **Componentes estructurales de pavimentos asfálticos y concreto hidráulico**



Fuente: elaboración propia.

1.1.2.1. Pavimento de concreto hidráulico

Estos pavimentos por su constitución estructural y el tipo de capa de rodadura, además de cumplir con resistir los esfuerzos normales y tangenciales transmitidos por los neumáticos y su constitución estructural, bien construida (gran resistencia a la flexo-tracción, a la fatiga y elevado módulo de elasticidad), debe tener el espesor suficiente que permita introducir en los casos más desfavorables, solo tensiones débiles a nivel del suelo del terreno de fundación y para cada capa ser suficientemente apto para resistir los esfuerzos a los que está sometido.

Este tipo de pavimentos debe cumplir con satisfacer las características siguientes (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 4-6):

1.1.2.1.1. Características principales del Pavimento de Concreto Hidráulico (PCH)

Un pavimento de concreto hidráulico posee características de diseño diferentes a un pavimento de concreto asfáltico, en donde las importantes son:

- Estar previsto para un período de servicio largo
- Prever un bajo mantenimiento

1.1.2.1.2. Factores principales de funcionalidad de los Pavimentos de Concreto Hidráulico (PCH)

Los factores de funcionalidad, dependen de agentes externos al pavimento, los cuales influyen considerablemente en el desempeño y funcionamiento ya en puesta en servicio; entre los cuales podemos mencionar:

- Tráfico
- Clima
- Geometría del proyecto (diseño vial)
- Posición de la estructura
- Construcción y mantenimiento

Cada uno de los factores anteriores, deben considerar los siguientes aspectos:

1.1.2.1.2.1. Tráfico

El tráfico, es la circulación de personas y vehículos por calles, y carreteras; es uno de los principales agentes externos que influyen en el funcionamiento los pavimentos y en el cual debemos considerar los siguientes efectos que causa:

- Carga bruta y presión de llanta.
- Propiedades del terreno de fundación y materiales del pavimento.
- Repetición de carga.
- Radio de influencia de carga.
- Velocidad.
- Eje y configuración de rueda.

1.1.2.1.2.2. Clima

El clima es agente natural externo, el cual puede representarse por medio de la precipitación pluvial, el calor y el frío generados por el ambiente natural; se deben de considerar los siguientes efectos que ocasionan:

- Precipitación pluvial (Aquaplaning).
- Contracción y expansión por cambios bruscos de temperatura.

1.1.2.1.2.3. Geometría del proyecto (diseño vial)

El diseño vial, está enfocado en la mejor distribución del tráfico en una carretera, para mejorar y optimizar el diseño del pavimento; se considera lo siguiente:

- Distribución del tráfico en el pavimento.

1.1.2.1.2.4. Posición de la estructura

La posición de la estructura de pavimento, depende del diseño vial, ya que nos proporciona información técnica sobre los siguientes aspectos a considerar:

- Secciones de corte y relleno.
- Profundidad del nivel freático.
- Deslizamientos y problemas relacionados.
- Depósitos ligeramente profundos.

1.1.2.1.2.5. Construcción y mantenimiento

La construcción y el mantenimiento del pavimento, son unos de los factores más importantes, para que un pavimento pueda brindar el servicio para el cual fue diseñado; entre los factores que causan daños futuros al pavimento durante el proceso de construcción y mantenimiento, son:

- Deficiencia en la compactación del terreno de fundación y/o cimiento.
- Fallas: instalación y mantenimiento de juntas.
- Inadecuada colocación de guías en los niveles (mandiles o reglas metálicas).
- Escarificado y eliminación de materiales superiores al especificado.
- Durabilidad del agregado fracturado.
- Temperatura de aceptación del concreto.

1.1.3. Diseño de Pavimentos de Concreto Hidráulico (PCH) con métodos alternativos

En el diseño de pavimentos donde se utiliza concreto hidráulico como capa de rodadura, actualmente se encuentra a criterio del diseñador, especialmente en lo que al refuerzo estructural se refiere, pues siempre quedara sujeto a las características predominantes del ambiente y servicio como parámetro de diseño en el resto de la estructura general del pavimento.

Los pavimentos de concreto hidráulico, su diseño y clasificación principalmente por el tipo de refuerzo estructural, se pueden clasificar de la siguiente forma (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 6):

- Pavimentos de Concreto Hidráulico Simple (PCH S)
- Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo de Acero (PCH RA)
- Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo Continuo (PCH RC)
- Pavimentos de Concreto Hidráulico Pre o Postensado (PCH PP)

- Pavimentos de Concreto Hidráulico Reforzado con Fibras (PCH RF)

1.1.4. Características de refuerzo estructural para pavimentos hidráulicos con métodos alternativos

El refuerzo estructural en la carpeta de rodadura del pavimento hidráulico, es uno de los factores determinantes de la calidad y durabilidad del pavimento, refuerzo estructural que se encarga de la distribución específica de las cargas y sus distintas formas de transmisión que impactan en la estructura general del pavimento.

A continuación generalidades de las características de refuerzo para los pavimentos de concreto hidráulico.

1.1.4.1. Pavimentos de Concreto Hidráulico Simple (PCH S)

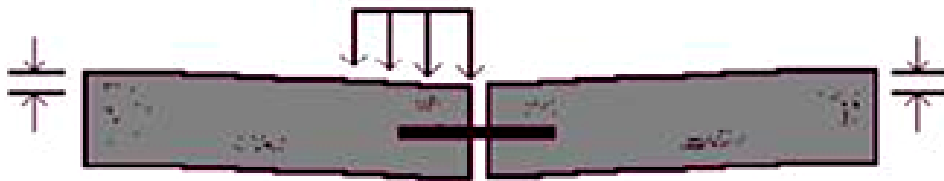
En este pavimento el concreto u hormigón asume y resiste las tensiones producidas por el tránsito y las variaciones de temperatura y humedad. Este pavimento puede llegar a contener elementos de transferencia de carga, o bien no contenerlos, cada uno con su área de aplicación (Ingenieros Consultores de Centro América, S.A., 2001. *Especificaciones generales para construcción carreteras y puentes*, p. 501-1).

- Con elementos de transferencia de carga o pasadores

Pequeñas barras de acero, que se colocan en la sección transversal, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a una contigua, mejorando las condiciones de deformación en las juntas,

evitando las deformaciones verticales diferenciales (escalonamiento), ver figura 2 (Ingenieros Consultores de Centro América, S.A., 2001. *Especificaciones generales para construcción carreteras y puentes*, p. 501-1).

Figura 2. **Detalle de pavimentos con elementos de transferencia de carga o pasadores**



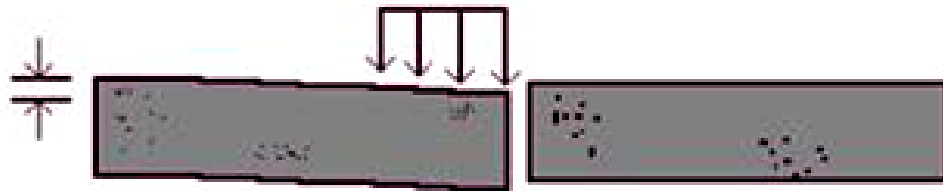
Fuente: elaboración propia.

La construcción de este tipo de pavimentos, se sugiere para tráfico mayor de 500 ejes diarios, equivalente de 18 000 libras (ESAL) (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 8).

- Sin elementos de transferencia de carga o simples

Estos pavimentos han sido de aplicación común para Guatemala, tanto para tráfico ligero, como para tráfico pesado (altas sollicitaciones), clima templado, sugiriendo para condiciones severas de tráfico y clima un cimiento granular y/o tratado, para aumentar la capacidad soporte y mejorar la transmisión de carga, ver figura 3 (Ingenieros Consultores de Centro América, S.A., 2001. *Especificaciones generales para construcción carreteras y puentes*, p. 501-1).

Figura 3. **Detalle de pavimentos sin elementos de transferencia de carga**



Fuente: elaboración propia.

Dentro de esta clasificación, se encuentran los pavimentos construidos con el método constructivo de losas cortas, el cual se describe a continuación:

1.1.4.1.1. Método constructivo de losas cortas

El método constructivo, es otra alternativa para la construcción de pavimentos rígidos, estableciendo como base fundamental para la concepción del método, la reducción de esfuerzos de flexión en las losas de la estructura del pavimento.

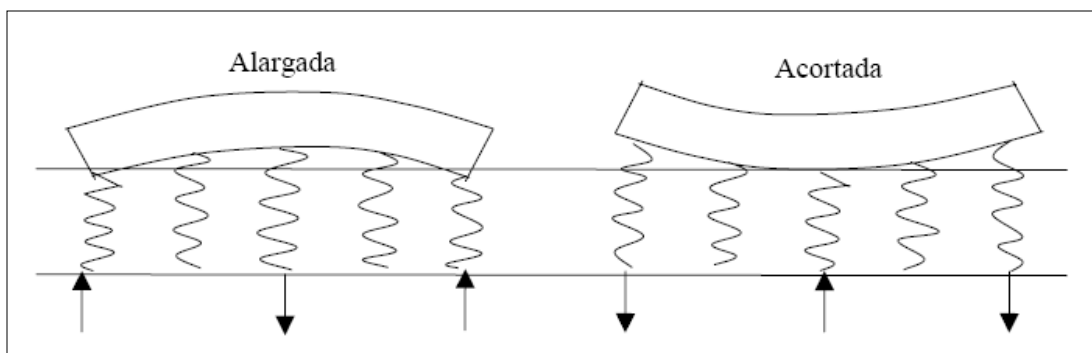
Este método busca la menor cantidad de repeticiones de carga por eje, basados en un análisis de fatiga del concreto, reduciendo el agrietamiento, falla por bombeo y el problema del diseño de juntas (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 15).

Se considera que el comportamiento mecánico de las losas, en función de la ubicación de la aplicación de la carga, mejora destacando los cambios generados en la geometría en función del menor dimensionamiento.

Inicialmente la deformación por alabeo, de forma general se establece que durante el día cuando la temperatura en la parte superior de la losa es más alta que en la inferior, la superficie superior tiende a expandirse con respecto al eje neutro mientras que la inferior tiende a contraerse.

Sin embargo, el peso de la losa restringe tanto la expansión como la contracción; entonces, se inducen esfuerzos de compresión en la parte superior y de tracción en la inferior. En la noche, cuando la temperatura en la parte superior de la losa es más baja que la de la inferior y así se inducen esfuerzos de tensión en la parte superior y de compresión en la inferior, tal como se muestra en la figura 4 (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 19).

Figura 4. **Alabeo en losas debido al gradiente térmico**



Fuente: Román, 2008.

Según el modelo realizado del comportamiento mecánico cuando la temperatura en la parte superior de la losa es más alta que la inferior, la losa se vuelve convexa. En esa posición los resortes de los extremos de la losa están sometidos a compresión y empujan la losa hacia arriba, mientras que los que están en el interior de la losa, están sometidos a tracción y tiran de la losa hacia

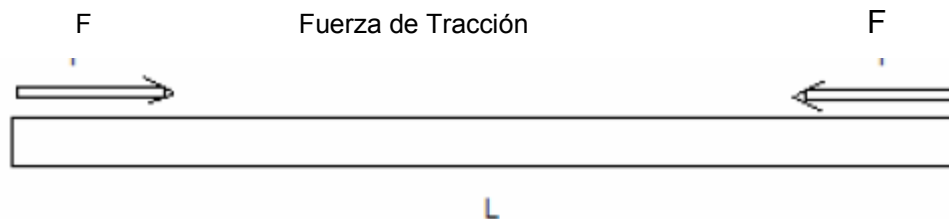
abajo. El resultado de la anterior situación, es que la parte superior de la losa esta en compresión y la inferior en tracción.

Cuando la temperatura en la cara expuesta es más baja que la del apoyo, la losa asume una forma cóncava. En esta posición los resortes exteriores tiran de la losa hacia abajo y los resortes interiores empujan la losa hacia arriba, el resultado es que se desarrollan esfuerzos de tracción en la superficie superior y de compresión en la cara inferior.

El análisis del método establece que el comportamiento de las losas respecto al alabeo, es determinante según las fuerzas generadas por los cambios de temperatura.

Entonces, analizando la forma en que actúan las fuerzas en la parte superior de la losa se tiene el comportamiento mostrado en las figuras 5 y 6.

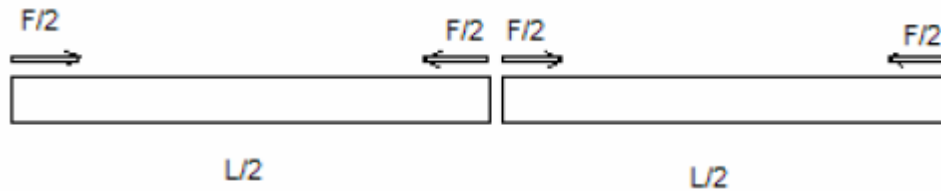
Figura 5. **Forma inicial en que actúan las fuerzas en el alabeo en losas tradicionales**



Fuente: Román, 2008.

Fuerzas actuantes de alabeo en losas cortas (usualmente se calcula inicialmente para la mitad de la longitud de las losas largas o tradicionales).

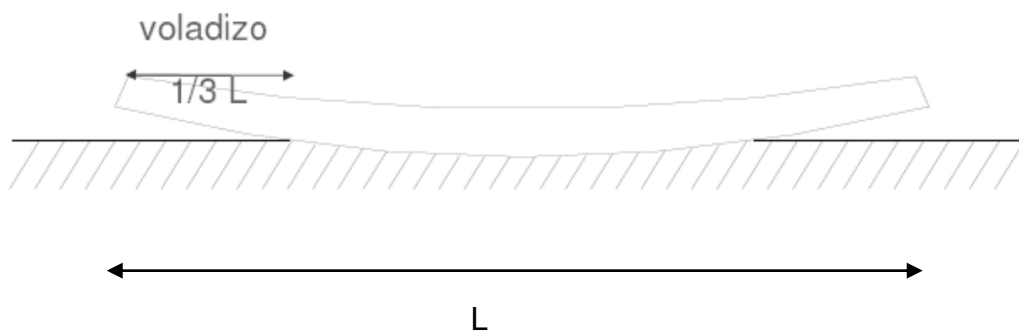
Figura 6. **Forma en que actúan la fuerzas en el alabeo con el nuevo dimensionamiento de losas y su longitud**



Fuente: Román, 2008.

Determinando que el efecto de alabeo a lo largo de losa se presenta físicamente de la siguiente forma; para losas largas o tradicionales, ver figura 7.

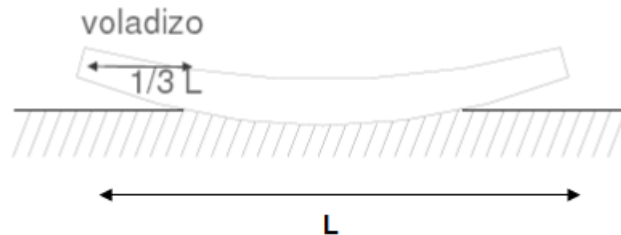
Figura 7. **Ubicación de la deformación por alabeo en losas largas o tradicionales**



Fuente: Román, 2008.

Para losas cortas, el comportamiento es el mismo ver figura 8.

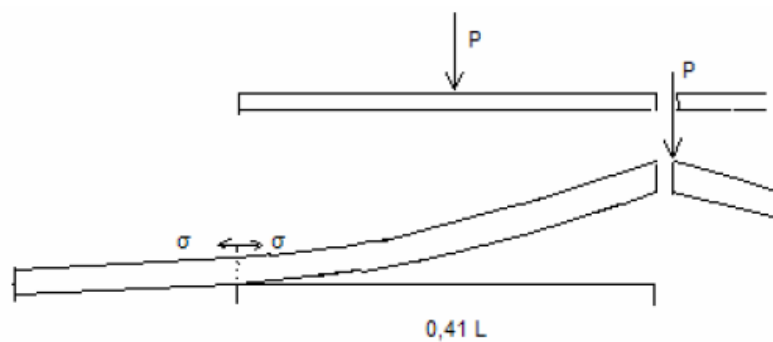
Figura 8. **Ubicación de la deformación por alabeo en las losas cortas**



Fuente: Román, 2008.

Por medio de análisis y pruebas de laboratorio, se ha determinado el comportamiento mecánico de las losas, y se ha podido establecer que el punto de concentración de esfuerzos y corte, se ubica en proporción a la longitud de las losas a 0,41 veces su longitud, generando por medio de las fallas en las mismas, nuevos bloques de pavimento, lo cual rompe la configuración original de la losa, ver figura 9 (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 19-22).

Figura 9. **Ubicación del punto de falla a corte provocada por la deformación por alabeo**



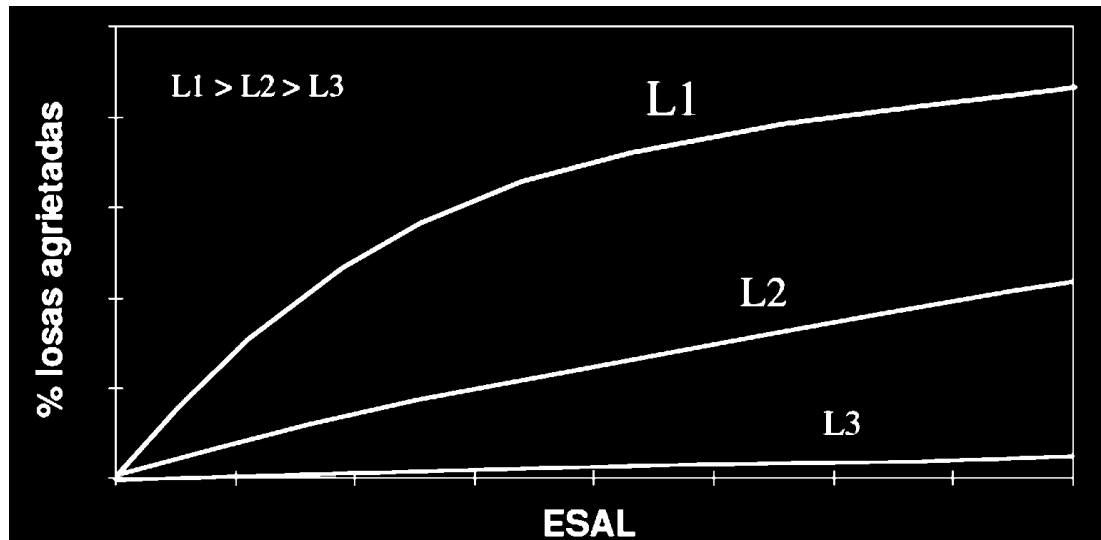
Fuente: Román, 2008.

Un punto que es importante resaltar del método, establece que en el momento de calcular la longitud de las losas, estas deberán ser más cortas, en la medida en que la capacidad de carga del suelo vaya en aumento. Esto es importante tenerlo en cuenta cuando se construyen pavimentos de concreto sobre bases estabilizadas o sobre pavimentos existentes (Covarrubias, 2005. *Pavimentos Delgados de Concreto [PDF]*, Recuperado en noviembre de 2007, del sitio Web del Instituto Chileno: <http://www.ich.cl/pavimentos_delgados>, p. 1-33).

Entonces para controlar los esfuerzos por temperatura, el diseñador disminuye la longitud de losa. Por eso en los diseños de pavimentos de concreto se trabaja con losas cortas, con lo que se controlan los esfuerzos por temperatura, pudiendo así hacer el análisis de los esfuerzos generados por los vehículos de forma independiente de las condiciones térmicas a las que se verán sometidas las losas.

El método determina que a medida que se reduce la longitud de las losas, se inducen menores esfuerzos a las mismas, gráficamente muestran su comportamiento en las losas respecto a la cantidad de losas donde se determinó algún tipo de falla, como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Comportamiento de agrietamiento en losas en función de la longitud

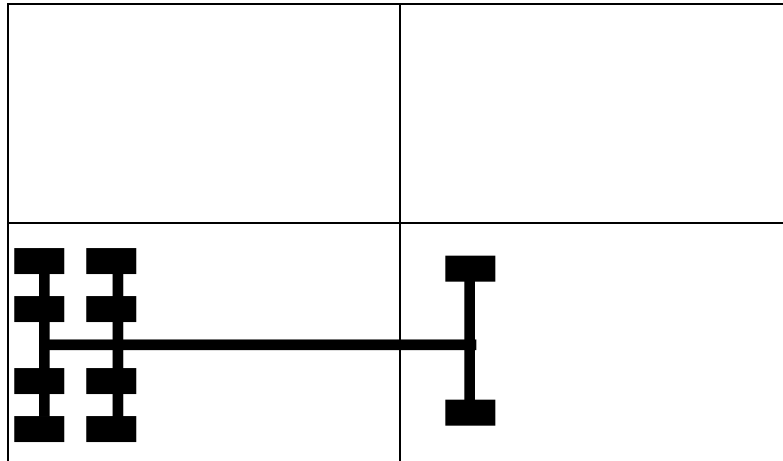


Fuente: Román, 2008.

De lo anterior se sugiere la utilización de losas cuadradas cortas (Covarrubias, 2005. Pavimentos Delgados de Concreto [PDF], Recuperado en noviembre de 2007, del sitio Web del Instituto Chileno: <http://www.ich.cl/pavimentos_delgados>, p. 1-33).

El método constructivo tiene como base de fundamento, la menor transmisión de cargas posible sobre cada una de las losas, por lo que con una menor longitud, en ningún momento debería de estar más de un eje vehicular sobre las losas, ver figura 11 y 12.

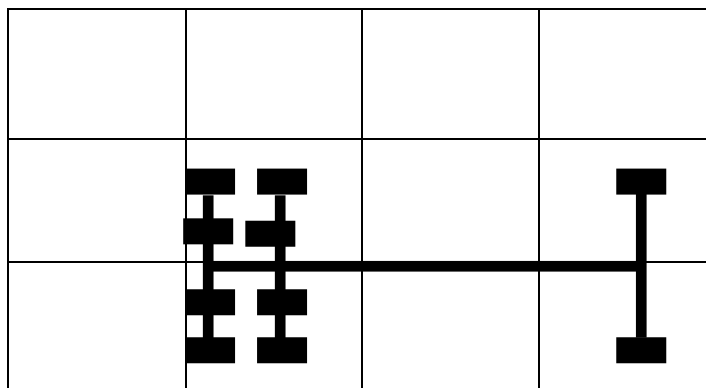
Figura 11. **Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas largas o tradicionales rectangulares**



Fuente: Román, 2008.

Ahora bien, redistribuyendo las cargas, sin concentrar la mayoría de las cargas, solamente en una sección de la losa, se propone:

Figura 12. **Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas cortas cuadradas de 175 a 180 cm**



Fuente: Román, 2008.

El método constructivo de losas cortas, establece también importantes facilidades constructivas, las cuales son (Covarrubias, 2005. *Pavimentos Delgados de Concreto [PDF]*, Recuperado en noviembre de 2007, del sitio Web del Instituto Chileno: http://www.ich.cl/pavimentos_delgados>, p. 1-33):

- No emplea refuerzo estructural.
- Determina que no es necesario emplear sello de juntas.
- Reducción de espesores en la construcción del pavimento.

1.1.4.1.2. Método de diseño PCA

Este método se basa en 2 criterios específicos, uno relativo a la resistencia a la fatiga del concreto u hormigón y el otro a la erosión de la base. En el primer caso, se supone que la carga máxima, se aplica en medio de la losa justo sobre la junta longitudinal que da la tensión máxima con la losa. En el segundo caso, se supone que la carga máxima se aplica en una esquina de la losa para generar deflexión máxima de la losa.

Cuando se usa este método de diseño, hay que conocer 4 parámetros fundamentales (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 7, p. 67-69):

- El módulo de ruptura del hormigón o concreto.
- El módulo de reacción suelo de fundación.
- El período de diseño.
- Las características del tráfico.

1.1.4.1.3. Método de diseño AASHTO

Este método se basa en el uso de una ecuación empírica, desarrollada por la observación de algunos pavimentos de hormigón estudiados durante ensayos de AASHTO sobre carreteras (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 7, p. 53-62):

Los criterios de diseño son:

- El número de ejes equivalentes de cargas axiales de 18 000 libras.
- El espesor de la losa.
- El módulo de elasticidad del hormigón.
- El módulo de ruptura del hormigón.
- El módulo de reacción de la subrasante.
- El coeficiente de transferencia de carga en las juntas.
- El coeficiente de drenaje.
- Confiabilidad.
- Desviación estándar o nivel de servicio final.

1.1.4.2. Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo de Acero (PCH RA)

- Con refuerzo de acero no estructural

El refuerzo no cumple la función estructural, su finalidad es resistir las tensiones de contracción del concreto en estado joven y controlar los agrietamientos. Tienen el refuerzo de acero en el tercio superior de la sección transversal, a no menos de 5 centímetros bajo la superficie la sección máxima de acero es de 0,3 por ciento de la sección transversal del Pavimento (Román,

2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 9-10).

Este tipo de pavimento es usualmente empleado en pisos industriales.

- Con refuerzo de acero estructural

El refuerzo de acero asume tensiones de tracción y compresión, por lo que es factible reducir el espesor de la losa hasta 10 ó 12 centímetros.

Su aplicación principal es en pisos industriales y losas que resisten cargas de gran magnitud (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 10).

1.1.4.3. Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo Continúo (PCH RC)

El refuerzo asume todas las deformaciones, en especial las de temperatura, eliminando las juntas de contracción, quedando solo las juntas de construcción y de dilatación en la vecindad de alguna obra de arte.

La fisura es controlada por una armadura continua en el medio de la calzada, diseñada para admitir una fina red de fisuras que no comprometan el buen comportamiento de la estructura del pavimento.

Se aplican principalmente en zonas de clima frío y recubrimientos en pavimentos deteriorados, ver fotografía 1 (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 10).

Figura 13. **Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo continuo**



Fuente: <http://www.blogdeagacel.com/wp-content/uploads/2011/10/DSCF1236.jpg>

1.1.4.4. Pavimentos de Concreto Hidráulico Pre o Postensado (PCH PP)

Su desarrollo es limitado, las primeras experiencias de este tipo de pavimentos fueron en pavimentos para aeropuertos.

El diseño trata de compensar su costo versus reducción del espesor, este tipo de pavimento presenta problemas en su ejecución y mantenimiento (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 11).

1.1.4.5. Pavimentos de Concreto Hidráulico Reforzado con Fibras (PCH RF)

Incorpora fibras metálicas, de propileno, carbón, etc. con excelentes resultados en aeropuertos y sobre capas delgadas de refuerzo.

El diseño es principalmente estructural y de buen comportamiento mecánico, pero sus costos y el mantenimiento requerido en su ejecución, dificultan su desarrollo (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 11).

1.2. Especificaciones para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico

Los pavimentos de concreto hidráulico, su diseño y posterior construcción, son aspectos que deben ser considerados para el seguimiento y su estricto control, el anterior razonamiento se deriva de la necesidad de garantizar que el método establecido en el diseño y posterior construcción, han sido decisiones acertadas en la construcción.

Tomando en consideración la referencia del párrafo anterior, se enumeran las condiciones generales que deben tomarse en cuenta para la construcción de pavimentos hidráulicos y sus distintos métodos constructivos.

1.2.1. Métodos constructivos y sus especificaciones de construcción

En el caso de los pavimentos rígidos, se establecen métodos constructivos que se emplean de forma común en Guatemala y Latinoamérica; métodos que

en su mayoría se rigen por las mismas especificaciones constructivas y de control de calidad, estableciendo como diferencias fundamentales entre los métodos, el control que se debe tener con el dimensionamiento de losas y el refuerzo estructural en cada caso.

Las características y requerimientos que a continuación se presentan, son especificaciones regionales para Guatemala y Centroamérica, comprendidas tanto en las *Especificaciones para el Diseño y Construcción de Carreteras de Guatemala* y la *Secretaría de Integración Económica de Centro América SIECA*.

1.2.2. Especificaciones para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico

Inicialmente se hará la descripción de las especificaciones para la construcción de pavimentos rígidos, dentro de las cuales deben hacerse algunas consideraciones, como se describe a continuación:

- Los pavimentos rígidos, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, produce una mejor distribución de las cargas respecto al pavimento flexible, produciendo bajas tensiones a nivel de la subrasante o explanada (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 1).
- En el análisis estructural del pavimento rígido, deben también ser considerados el resto de los elementos que componen la estructura del paquete del pavimento o firme, y sus características como elementos de absorción y transmisión de cargas vehiculares aplicadas.

Teniendo en consideración las características anteriormente descritas respecto a los pavimentos rígidos, se describen a continuación las especificaciones para la construcción de este tipo de pavimento:

1.2.2.1. Subrasante o explanada

Lo que se llama indistintamente como subrasante o explanada, se refiere a la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada, debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 2).

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante o explanada, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inerte a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 2).

1.2.2.1.1. Características de los materiales de subrasante o explanada

Tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, de lo contrario, el material deberá reemplazarse por material adecuado para subrasante en el tramo correspondiente o considerar la estabilización de los suelos subyacentes

(Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 2).

En general, los materiales apropiados para la capa de subrasante, son los suelos de preferencia granulares con porcentajes de hinchamiento según ensayos AASHTO T-193 y que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo. Según AASHTO M-145, los suelos clasificados A-8, son materiales inadecuados para la capa de subrasante, ya que son suelos orgánicos constituidos por materiales vegetales o fangosos.

Estos suelos generalmente tienen textura fibrosa, presencia de materia orgánica, color café oscuro y olor a podredumbre y son altamente compresibles, con muy baja resistencia. Cuando en la subrasante aparezcan áreas con este tipo de material, deberá reemplazarse por otro que llene los requisitos para subrasante, haciendo previamente la remoción del material inapropiado (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 2).

1.2.2.1.2. Características de compactación para subrasante o explanada

Para compactar la capa de subrasante, el espesor de ésta no debe ser mayor de 20 centímetros, la cual tiene que escarificarse, homogenizarse, mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad, hasta lograr como mínimo el 95 por ciento de compactación (Ingenieros Consultores de Centro América, S.A., 2001. *Especificaciones generales para construcción carreteras y puentes, Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, República de Guatemala* p. 301-1).

1.2.2.2. Subbase

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura del pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 60).

La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 60).

1.2.2.2.1. Características de los materiales para subbase

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

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

- El valor soporte (CBR) debe determinarse según la Norma AASHTO T-193 sobre muestra saturada según la Norma AASHTO T-180. El tamaño

de las piedras que contenga el material de subbase, no debe ser mayor de 2/3 del espesor de esta y los porcentajes que pasan los tamices No. 40 y No. 200, deben ser según la Norma AASHTO T-11 y T-27.

- El índice de plasticidad debe determinarse según la Norma AASHTO T-90, y el límite líquido según la Norma AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, según la Norma AASHTO T-146.
- El equivalente de arena es determinado por el método de la Norma AASHTO T-176.
- El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 61).

1.2.2.2.2. Compactación

El material de la subbase debe ser tendido en capas no mayores de 30 centímetros de espesor. Este debe homogenizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en su totalidad, hasta alcanzar su densidad máxima por el método de la Norma AASHTO T-180 (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 61).

1.2.2.3. Base

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. Las bases especificadas son las siguientes (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 4):

1.2.2.3.1. Base granular

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento; su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 4-5).

1.2.2.3.2. Base triturada

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, para constituir una base integrante de un pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 62).

1.2.2.3.3. Materiales

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

- Valor soporte (CBR) para piedra triturada y para grava (canto rodado), según la Norma AASHTO T-193, la compactación según la Norma AASHTO T-180 e hinchamiento máximo según la Norma AASHTO T - 193.
- El material debe estar libre de impurezas y residuos orgánicos.
- La porción de agregado retenida en el tamiz No. 4, no debe tener un porcentaje de desgaste, por abrasión, según la Norma AASHTO T-96.
- La porción que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad según se indica en la Norma AASHTO T-90 y un límite líquido mayor al indicado en la Norma AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo según la Norma AASHTO T-25.
- El porcentaje que pasa el tamiz No. 200, debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.
- El equivalente de arena no debe de ser menor de lo que se indica en la Norma AASHTO T-176.
- Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle

características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe ser libre de impurezas y consistir en suelo arenoso, limo orgánico, polvo de roca u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen por el tamiz No. 10 (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 5).

1.2.2.3.4. Compactación

Antes de tender el material de base, el material de subbase debe tener la compactación mínima de 95 por ciento de compactación.

Cuando el espesor de la base sea mayor de 30 centímetros, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que éstas no sean mayores de 30 ni menores de 10 centímetros. Además, se tiene que humedecer la superficie entre capas, para conseguir una mejor adhesión entre éstas, y así evitar deslizamientos.

Al compactar el material, debe ser homogéneo y debe estar humedecido y mezclado, para lograr la densidad especificada. La capa de base ya terminada, tiene que quedar lo más uniforme posible, para evitar concentración de esfuerzos en la capa de rodadura, al estar el pavimento ya dispuesto para la circulación de vehículos (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 6).

1.2.2.4. Base estabilizada

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización,

para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase.

Cuando las bases han sido compactadas a su humedad óptima y densidad máxima, son altamente resistentes a la desintegración, además de mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando una mejor distribución de las cargas de tránsito a las capas subyacentes de la estructura de pavimento. Es de resaltar que la adición de cemento a ciertos suelos plásticos, los transforma en buenos materiales para base.

La utilización de cemento Portland para la estabilización de materiales de base, se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar sus condiciones mecánicas. Es conveniente que al utilizar cemento para estabilizar suelos, se realicen pruebas en el laboratorio, que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar, sin que se produzcan agrietamientos en la muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera.

Es necesario tomar en cuenta, que no es lo mismo estabilizar que rigidizar, ya que los materiales obtienen del producto estabilizador algunas condiciones de beneficio; como son la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento del CBR, pero también toman otras como una alta rigidización que no es conveniente al material, por el hecho de que esta condición permite la aparición de grietas.

Es conveniente hacer notar que el cemento como estabilizador es un material de alta calidad, especialmente si los materiales con los cuales se va a

combinar, son de la misma generación que él (gravas, rocas y arenas), pero al utilizarse con suelos como limos y arcillas, la situación cambia, ya que estos son muy susceptibles a agrietarse cuando el contenido de cemento es muy alto.

Para efecto de la estabilización de bases, también podrán usarse compuestos estabilizadores químicos y orgánicos, basados en resinas sintéticas, solos o en combinación con cal, cemento o material bituminoso. Estos productos deben requerir el certificado de calidad extendido por el fabricante o distribuidor, incluyendo los aspectos referentes a dosificación, procedimientos de aplicación, resistencia y durabilidad del producto.

Se deberán realizar ensayos de laboratorio a las mezclas de estos productos con suelos, para determinar sus características fisicoquímicas y comprobar su efectividad y verificando que se obtenga la resistencia a la compresión según la Norma AASHTO T-135 y la densidad máxima Proctor, según la Norma AASHTO T-99 (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 64-66).

1.2.2.4.1. Compactación

La capa estabilizada debe compactarse en su totalidad hasta lograr su densidad máxima, según la Norma AASHTO T-134 y T-191 y debe ejecutarse en capas no mayores de 30 ni menores de 10 centímetros. Cuando la capa estabilizada tiene un espesor que excede los 30 centímetros, la compactación debe hacerse por capas de 15 centímetros, y no debe tenderse la siguiente capa antes de transcurrido el tiempo mínimo de curado de la inmediata inferior.

Debe controlarse por medio de ensayos de laboratorio y de campo, la compactación que debe dar al material, según el equipo de que se dispone para

lograr la densidad especificada. Se establece una tolerancia en menos, del 3 por ciento respecto al porcentaje de compactación estipulado para cada tipo de estabilizador de que se trate, para la aceptación de la capa de base y/ o sub-base estabilizada.

No deben transcurrir más de 60 minutos entre el final del tendido y la conformación, y el inicio de la compactación. Realizada la compactación, se debe comprobar la resistencia a la compresión la Norma según ASTM1 D-1632 y D-1633.

La textura de la superficie no debe ser lisa, debiéndose escarificar ligeramente o pasar escoba de arrastre para dejar la superficie con la rugosidad adecuada, con el fin de evitar deslizamientos entre la capa de rodadura y sobre el material de base estabilizado (Coronado, 2002. *Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos*, cap. 5, p. 8).

1.2.2.5. Especificaciones para concreto

Los pavimentos de concreto hidráulico, deben llenar los requisitos siguientes:

1.2.2.5.1. Cementos hidráulicos

Estos cementos deben cumplir con proveer una resistencia de 28 MPa (4 000 psi) o mayor.

1.2.2.5.2. Agregado fino

Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, que llene los requisitos de las Normas AASHTO M-6, Clase B, AASHTO T-104 y AASHTO T-106 con las limitaciones sobre cantidad de finos allí estipuladas para concreto de pavimentos, y para concreto sujeto a desgaste superficial.

El agregado fino debe ser almacenado separadamente del agregado grueso, en pilas independientes para las diversas procedencias, debiéndose controlar sus características y condiciones por medio de ensayos de laboratorio, para hacer los ajustes en la dosificación, en el momento de la elaboración del concreto

1.2.2.5.3. Agregado grueso

Debe consistir en grava o piedra trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, que llene los requisitos establecidos en las Normas AASHTO M 80, ASTM C33, AASHTO T 104 ó ASTM C 88, AASHTO T 96 ó ASTM C 131 y ASTM C 535 incluyendo los requisitos de desgaste o abrasión y la limitación de partículas planas y alargadas.

1.2.2.5.4. Agua

El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados, debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico

y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. El agua de mar o aguas salobres y de pantanos, no deben usarse para concreto reforzado.

El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable, puede usarse sin ensayos previos. Donde el lugar de abastecimiento sea poco profundo, la toma debe hacerse en forma que excluya sedimentos, hierba y otras materias perjudiciales.

Cuando se dude de la calidad del agua, deberá cumplir con las Normas AASHTO T 106, ASTM C 109, AASHTO T 131 y ASTM C 191 (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 64-66).

1.2.2.5.5. Aditivos

Los aditivos deberán tener la capacidad de mantener esencialmente la misma composición y rendimiento del concreto de la mezcla básica. No se permitirá el uso de aditivos que contengan iones de cloruro, en ningún tipo de concreto reforzado o pre esforzado o concretos que contengan elementos galvanizados o de aluminio. Previa a la autorización del uso de aditivos, el contratista deberá realizar mezclas de pruebas de campo, utilizando los materiales y equipo a emplear en el proyecto u obra.

Si se emplea más de un aditivo, debe cuidarse de que los efectos deseables de cada uno se realicen y no interfieran entre sí. Cuando se empleen aditivos acelerantes en tiempo caluroso, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar un fraguado muy rápido del concreto.

Los aditivos permisibles son los siguientes:

**1.2.2.5.5.1. Aditivos
incorporadores
o inclusores de
aire**

Estos aditivos deben cumplir con lo prescrito en las Normas AASHTO M 154, ASTM C 260 ó COGUANOR NGO 41069.

**1.2.2.5.5.2. Aditivos
retardantes**

Estos aditivos deben cumplir con los requisitos para los aditivos tipo B ó tipo D, establecidos en las Normas AASHTO M 194, ASTM C 494 ó COGUANOR NGO 41070.

**1.2.2.5.5.3. Aditivos
acelerantes**

Los aditivos acelerantes deben cumplir con los requisitos establecidos para los aditivos Tipo C, establecidos en la Norma ASTM C 494, AASHTO M 194 ó COGUANOR NGO 41070, excepto que no deberán contener cloruros.

1.2.2.5.5.4. Aditivos reductores de agua, reductores de agua y retardantes, reductores de agua y acelerantes, reductores de agua de alto rango y reductores de agua de alto rango y retardantes

Deberán cumplir con los requisitos establecidos en las Normas AASHTO M 194, ASTM C 494 ó COGUANOR NG 41070.

1.2.2.5.5.5. Aditivos plastificantes y retardantes

Deberán cumplir con los requisitos establecidos para los aditivos tipos I y II en las Normas ASTM C 1017 ó COGUANOR NG 41047.

1.2.2.5.5.1. Cloruro de calcio

Cuando se especifique su empleo como aditivo acelerante, debe usarse sólo para concreto simple, sin refuerzo que no tenga aluminio ahogado, o que no sea fundido contra formaletas de metal galvanizado, y debe cumplir además con las Normas AASHTO M 144 ó ASTM D 98. No se debe usar en el concreto para pavimentación.

1.2.2.5.5.2. Ceniza volante de carbón y otras puzolanas naturales o artificiales

Al emplearse como aditivos minerales en el concreto, deben cumplir con los requisitos de las Normas AASHTO M 295, ASTM C 618 ó COGUANOR NG 41045.

1.2.2.5.5.3. Escoria granulada de alto horno

Cuando se les emplee como aditivo mineral en el concreto, deben cumplir con lo indicado en las Normas AASHTO M 302 y ASTM C 989, para grados 100 y 120.

1.2.2.5.5.4. Humo de sílice (o microsílíce)

Al emplearse como aditivo mineral en el concreto, debe cumplir con lo indicado en las Normas AASHTO M 307 y ASTM C 1240.

Los aditivos Ceniza Volante de Carbón y otras Puzolanas Naturales o Artificiales, Escoria Granulada de Alto Horno y Humo de Sílice (o microsílíce), pueden ser utilizados en casos especiales como reemplazo parcial del cemento, siempre que no existan en el mercado cementos hidráulicos mezclados o adicionados que contengan estos aditivos, en cuyo caso se especificará preferentemente el empleo de estos cementos.

1.2.2.5.5.5. Aditivos expansivos y reductores de contracción

Cuando se especifique el uso de estos aditivos (para cementos expansivos o cementos de contracción compensada), estos materiales deben cumplir con la Norma ASTM C 845 y no producir efectos nocivos secundarios en el concreto.

Los ensayos de los aditivos, deben hacerse en lo posible, utilizando el mismo cemento y agregados propuestos para el trabajo que se trate (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 68-71).

1.2.2.5.6. Requisitos para la clase y resistencia del concreto

El concreto de cemento hidráulico para pavimentos, debe ser como mínimo clase 24,5 MPa (3 500) con una resistencia a compresión según la Norma AASHTO T 22 (ASTM C 39), promedio mínima de 24,5 MPa (3 500 psi) y una resistencia a la flexión según Norma AASHTO T 97 (ASTM C 78), promedio mínima de 3,8 MPa (550 psi), determinadas sobre especímenes preparados según Norma la AASHTO T 126 (ASTM C 192) y T 23 (ASTM C 31), ensayados a los 28 días. Cuando en los planos y disposiciones especiales no se indique la clase, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto, deben usarse los valores que se indican a continuación.

Para pavimentos de carreteras principales y vías urbanas principales con un tránsito promedio diario anual mayor de 5 000 y con un tránsito pesado promedio diario arriba del 20 por ciento, debe usarse un concreto de clase 28 (4 000 psi) o mayor, con una resistencia a la flexión según la Norma AASHTO T 97 (ASTM C78) promedio mínima de 4,5 MPa (650 psi) o mayor (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 71).

1.2.3. Fallas estructurales y sus causas en losas de pavimento hidráulico

Una de las principales fallas son los agrietamientos, consecuencia de la contracción del concreto u hormigón, ocurre a muy temprana edad, como consecuencia de cambios de temperatura durante los procesos de hidratación y fraguado, así como por la pérdida de agua por evaporación (Román, 2008.

Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 55).

Según evaluaciones efectuadas, en la actualidad en el caso puntual de los pavimentos construidos en Guatemala, se presentan fallas que probablemente no se tenían contempladas por sus diseñadores y de las cuales a continuación se hacen referencia (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 87):

- Falla por alabeo
- Falla en juntas
- Falla por choque entre losas
- Fallas de corte longitudinal o transversal
- Asentamiento de losas
- Desplazamientos longitudinales y transversales en losas
- Erosión o desgaste de superficie
- Pérdida de reflectividad

1.2.3.1. Falla por alabeo

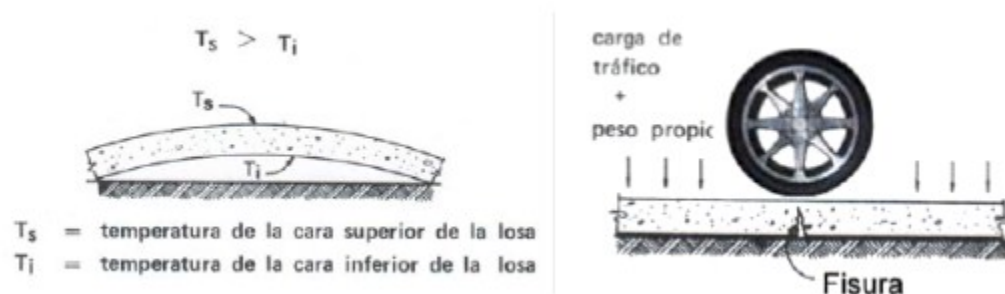
Este tipo de falla se ha establecido que, es la consecuencia principalmente por los efectos generados por cambios severos de temperatura, pero la contracción y expansión inducida por estos cambios de temperatura no ocurren libremente, puesto que se encuentra restringida por las fuerzas de fricción desarrolladas entre las superficies en contacto de la losa con la subbase, lo que genera esfuerzos de tensión en el hormigón, que a su vez generan fisuración transversal en el pavimento.

La separación y el ancho de las fisuras transversales, dependen entre otras cosas, del tipo de material de la capa de apoyo; cuando se tienen subbases rígidas, el patrón de agrietamiento se presenta con separaciones cortas y poco anchas, mientras que en subbases granulares se presentan separaciones mayores y con mayor ancho.

La fisuración también puede ocurrir a edades mayores, cuando el concreto ya se encuentra endurecido, como consecuencia de gradientes térmicos y de humedad, debido a los cuales las losas experimentan alabeos, con cambios de forma y curvatura sensibles en el transcurso del día y de la noche.

Los agrietamientos térmicos modifican el sentido de la curvatura de las losas, pasando de cóncavo durante la noche a convexo hacia abajo durante el día, ver figuras 13 y 14 (Covarrubias, 2005. *Pavimentos Delgados de Concreto [PDF]*, Recuperado en Noviembre de 2007, del sitio Web del Instituto Chileno: <http://www.ich.cl/pavimentos_delgados>, p. 1-33).

Figura 14. **Efecto de falla generado por la aplicación de cargas vehiculares con existencia de alabeo**



Fuente: Román, 2008.

Deformación de la losa durante el día, origen de la grieta por carga

Figura 15. **Efecto de falla generados por la aplicación de cargas vehiculares con existencia de alabeo**



Fuente: Román, 2008.

Deformación de la losa durante la noche, rotura de la losa por carga

Debe tenerse especial cuidado con el diseño de juntas, debiendo tener en cuenta las condiciones que aseguren la transferencia de cargas deseada, así como permitir la colocación de un material de sello que impida la infiltración de agua y la penetración de materiales incompresibles que restrinjan el libre movimiento de las losas.

Aunque en ocasiones la fallas no se presentan por una mala concepción de diseño del pavimento, sino que obedece a malos controles en la calidad constructiva de los mismos, generando así un deterioro prematuro.

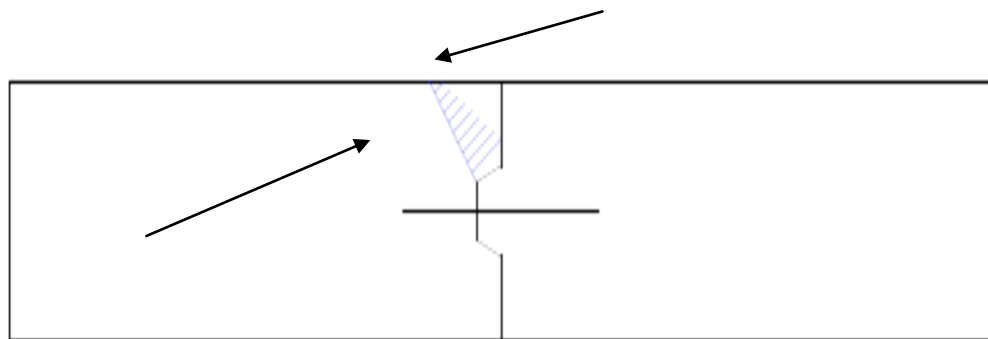
1.2.3.2. Fallas en juntas (de esquina)

Con la innovación en la dimensión de losas, métodos constructivos, y sus controles para ejecución, también se ha visto la conveniencia de construir juntas simples para la continuidad en la construcción del pavimento, aprovechando la forma geométrica de las losas y promoviendo una menor cantidad de zonas de falla, evitando el desportillado prematuro ocasionado por la concentración de esfuerzos en áreas de corte, las cuales resultan ser críticas y susceptibles a fallas de distintos tipos (Román, 2008. Tesis: *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*, p. 44).

A continuación se muestra la zona de falla usual en las juntas de continuidad constructiva en los pavimentos de concreto hidráulico, ver figura 15.

Figura 16. **Zona de falla en juntas de continuidad constructiva del pavimento**

Zona de falla



Pasador

Fuente: Román, 2008.

Entonces, es necesario reflejar la importancia que tiene la distancia entre las juntas longitudinales y transversales en el pavimento terminado, a continuación se muestra el tipo de falla localizado durante la evaluación (ver anexo 1).

1.2.3.3. Falla por choque entre losas

Este tipo de fallas es común cuando en la estructura del pavimento, las capas inferiores a la carpeta de rodadura, entiéndase la subrasante o bien el material de base, no tiene las prestaciones requeridas de valor soporte, o bien, cuando entre de la carpeta de rodadura y la superficie inmediata inferior es susceptible a deformaciones provocadas por contaminación en los intersticios, generando así el desplazamiento continuo de las losa en todas direcciones.

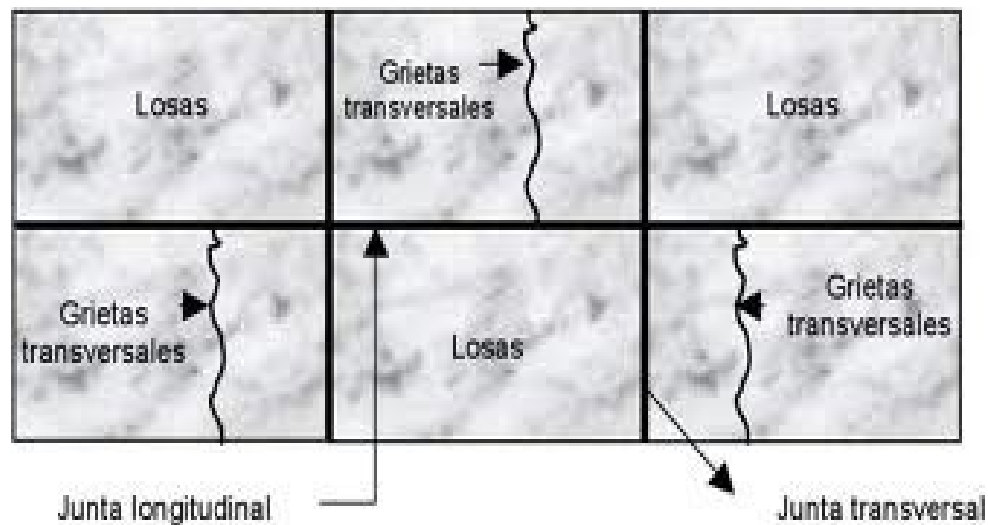
Generalmente este tipo, es el que induce los desportillados entre losas cuando no se encuentran localizados en las esquinas de las losas (ver anexo 2) (Booz, Allen & Hamilton, Barriga Dall'Orto y Wilbur Smith, 1999. *Manual de identificación, clasificación y tratamiento de fallas en pavimentos urbanos volumen VII informe final*, p. 102).

1.2.3.4. Falla a corte longitudinal o transversal

Este tipo de falla puede tener diferentes causas, generalmente se ha considerado que obedece en gran parte a una insuficiencia en el espesor de la losa, pero también deja abierta la posibilidad a una deficiente capacidad de transmisión de carga en los materiales que componen la base o subbase de los pavimentos, generalmente se presentan como se muestra en la figura 16 (ver anexo 3) (Booz, Allen & Hamilton, Barriga Dall'Orto y Wilbur Smith, 1999.

Manual de identificación, clasificación y tratamiento de fallas en pavimentos urbanos volumen VII informe final, p. 88-92).

Figura 17. **Forma en que se presenta la falla a corte longitudinal o transversal**

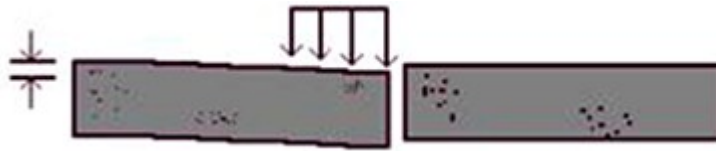


Fuente: elaboración propia.

1.2.3.5. **Falla por asentamiento de losas**

La falla por asentamiento de losas, es generalmente consecuencia de un bajo valor soporte del material de base o bien de la subbase, usualmente esta condición se genera por materiales contaminados, suelos con alto contenido de humedad donde el suelo de fundación tiene la presencia de limos y arcillas expansivas, ver figura 17 (Booz, Allen & Hamilton, Barriga Dall'Orto y Wilbur Smith, 1999. *Manual de identificación, clasificación y tratamiento de fallas en pavimentos urbanos volumen VII informe final, p. 79-82).*

Figura 18. **Falla característica de asentamiento en losas**



Fuente: elaboración propia.

1.2.3.6. Falla por desplazamiento de losas longitudinal o transversal

Se pretende establecer como un tipo de falla, la deficiencia generada por el desplazamiento de las losas, tanto longitudinal, como transversal; esta condición de falla se origina principalmente en los pavimentos que no poseen ningún tipo de refuerzo estructural, como principal consecuencia del desplazamiento de las losas, se tiene la contaminación de los componentes de las capas inferiores del pavimento, así el aumento de humedad con las precipitaciones pluviales, dejando susceptible a la erosión el resto del pavimento (ver anexo 4) (Booz, Allen & Hamilton, Barriga Dall’Orto y Wilbur Smith, 1999. *Manual de identificación, clasificación y tratamiento de fallas en pavimentos urbanos volumen VII informe final*, p. 99-100).

1.2.3.7. Erosión y desgaste de superficie

La superficie de la carpeta de rodadura del pavimento, es tan importante como el resto de los componentes y características del pavimento, es la superficie la que de primera mano está sometida a las aplicaciones de carga y efectos abrasivos y demás deterioros del pavimento, siendo de vital importancia del tipo y calidad de textura superficial.

Se ha considerado como falla la erosión y desgaste de la superficie, cuando los pavimentos no tienen suficiente tiempo de prestar su servicio, y ya presenta desgaste superficial (Booz, Allen & Hamilton, Barriga Dall'Orto y Wilbur Smith, 1999. *Manual de identificación, clasificación y tratamiento de fallas en pavimentos urbanos volumen VII informe final*, p. 68-72).

1.2.3.8. Pérdida de reflectividad

Los pavimentos de concreto hidráulico en su concepción, deben brindar muy buena reflectividad cuando se conduce sobre ellos, principalmente por la noche, es por esto que debe clasificarse como falla si existe deficiencia alguna en esta característica; la calidad de la reflectividad quedará a criterio del diseñador, utilizando como unidad de medida la cantidad de luxes que obviamente debe ser superior al de un pavimento asfáltico (Booz, Allen & Hamilton, Barriga Dall'Orto y Wilbur Smith, 1999. *Manual de identificación, clasificación y tratamiento de fallas en pavimentos urbanos volumen VII informe final*, p. 68-72).

En Guatemala el problema es generalizado para este tipo de pavimento, debido a lo anterior como consecuencia del deterioro del parque vehicular en el país, y a la falta de regularización para el transporte pesado y el control en el derrame de productos que transportan.

2. LOCALIZACIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS OBJETO DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

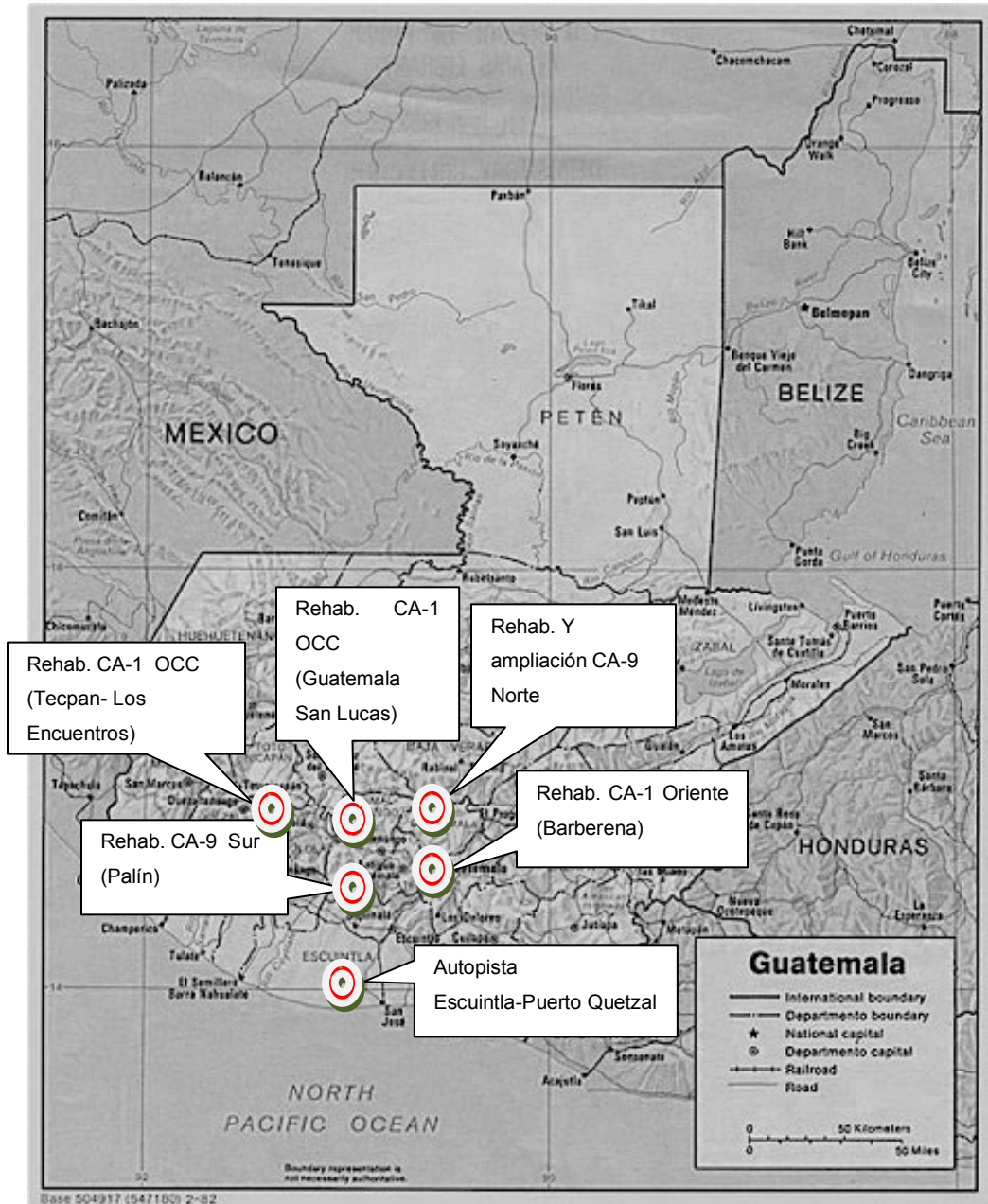
En este capítulo se establecerá la ubicación y localización de cada uno de los tramos que son objeto de seguimiento, se hará la referencia de la ubicación kilométrica, tomando como punto de origen la referencia del kilometraje que parte de la capital de la República de Guatemala, hacia cada uno de los tramos carreteros.

Como referencia, debe hacerse notar que la construcción de pavimentos hidráulicos ha sido una práctica de hace varios años en Guatemala (desde el año de 1983), pero se ha tratado de innovar en la construcción de los mismos, con la utilización del método de losas cortas en tramos de alto nivel de tráfico e importancia económica para el país.

Los tramos carreteros que hasta el día de hoy se han construido en Guatemala, se ubican de forma radial del centro del país hacia el norte, sur oriente y occidente, como consecuencia de la importancia económica que representa.

A continuación, la ubicación y localización específica de los pavimentos bajo seguimiento, y cuya característica general, es la aplicación del método constructivo de losas cortas (ver figura 18).

Figura 19. Localización general de los pavimentos en evaluación



Fuente: Román, 2008.

2.1. Localización y descripción de los tramos carreteros objeto de seguimiento

En esta sección se describen las características de longitud, punto kilométrico de evaluación y localización geográfica de los tramos carreteros objeto de seguimiento.

2.1.1. Rehabilitación CA-1 OCC Tecpan - Los Encuentros

Tramo que se encuentra en construcción, por lo que aún no se determina la longitud final, se incluye dentro de los tramos evaluados el método constructivo utilizado y el deterioro presentado de forma prematura, localizado al nor-occidente de Guatemala, evaluado en el punto kilométrico 93+000 de la carretera CA-1 occidente, carretera que comunica al departamento de Chimaltenango y Solola (ver figura 19).

Figura 20. Rehabilitación CA-1 OCC Tecpan - Los Encuentros



Fuente: Román, 2008.

Tramo carretero de 43,88 kilómetros de longitud, localizado al sur occidente de Guatemala, evaluado en el kilométrico 95+000 de la carretera CA-9 sur, carretera que comunica la cabecera departamental de Escuintla y la estación portuaria Quetzal, (ver figura 20).

Figura 21. **CA-9 Sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal**

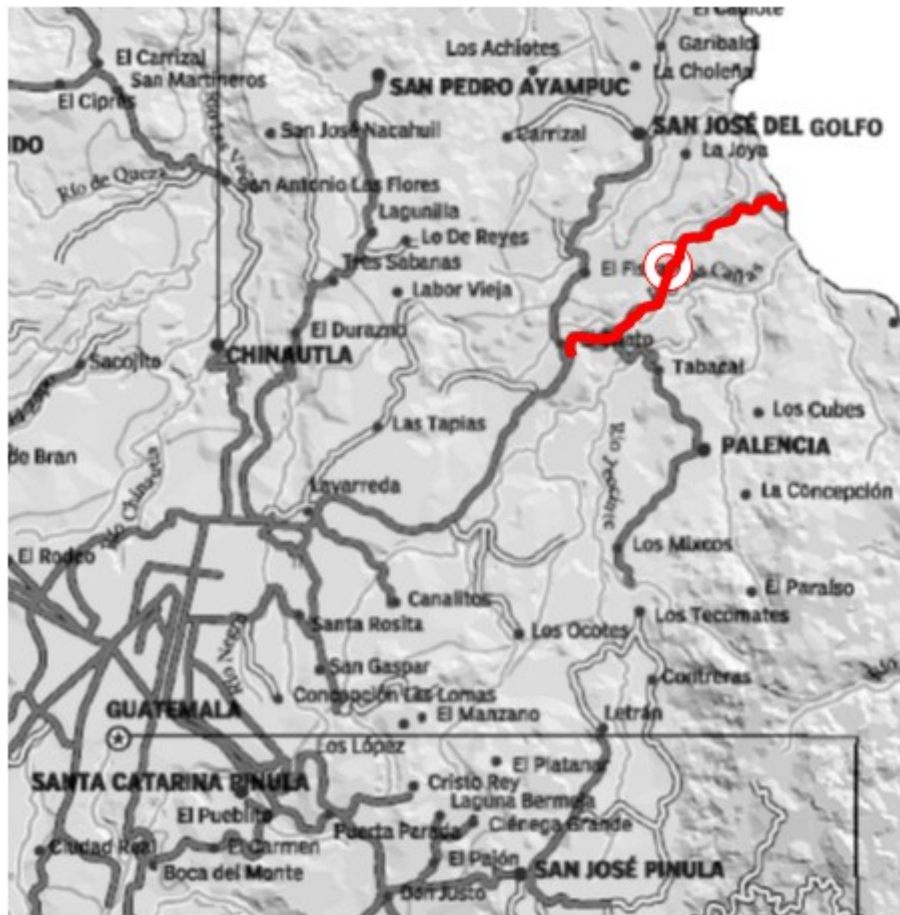


Fuente: Román, 2008.

2.1.2. **Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente**

Rehabilitación del tramo carretero de 20,75 kilómetros de longitud, localizado al nor oriente de Guatemala, evaluado en el punto kilométrico 9+800 de la carretera CA-9 norte, carretera que comunica la capital de Guatemala y la cabecera departamental de El Progreso (ver figura 21).

Figura 22. Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente

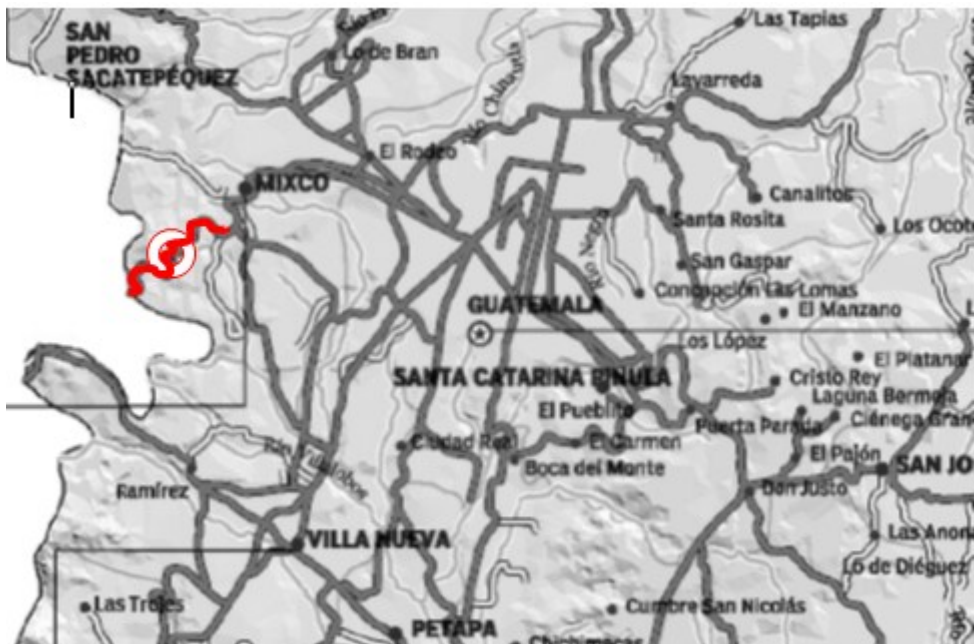


Fuente: Román, 2008.

2.1.3. Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepéquez - Santa Lucía Milpas Altas

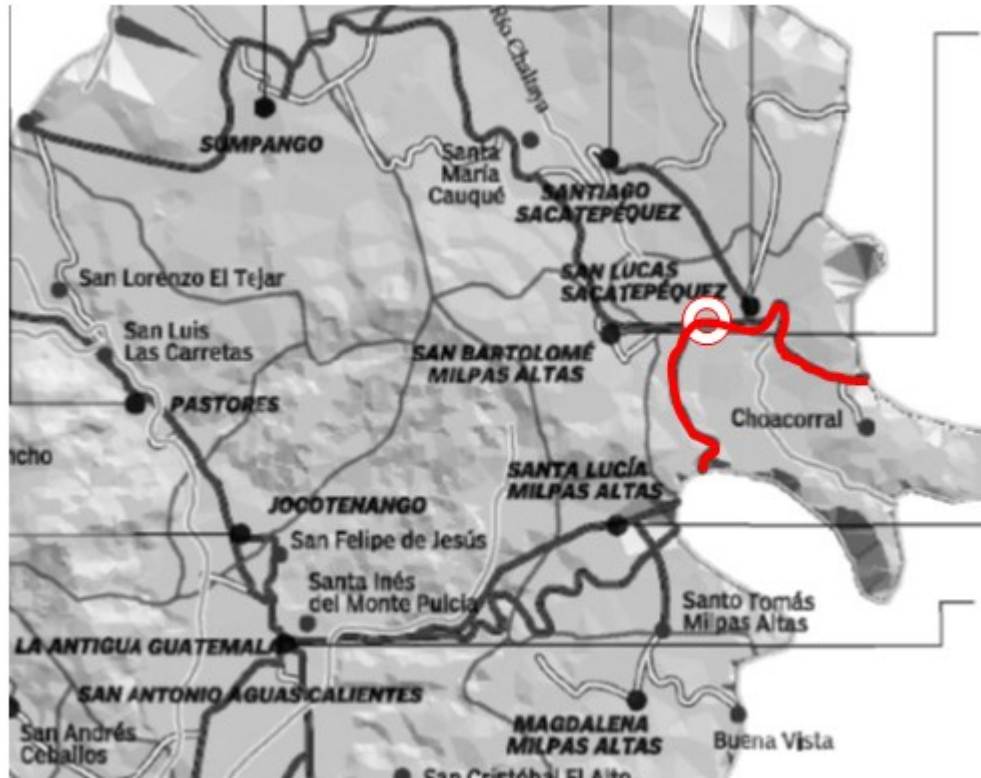
Rehabilitación del tramo carretero de 18,2 kilómetros de longitud, localizado al nor occidente de Guatemala, evaluado en el punto kilométrico 24+500 de la carretera CA-1 occidente, carretera que comunica la capital de Guatemala, San Lucas Sacatepéquez y Santa Lucía Milpas Altas, los 2 últimos en mención del departamento de Sacatepéquez (ver figuras 22 y 23).

Figura 23. Rehabilitación CA-1 OCC Ciudad San Cristóbal-San Lucas Sacatepéquez - Santa Lucía Milpas Altas



Fuente: Román, 2008.

Figura 24. **Rehabilitación CA-1 OCC Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepéquez - Santa Lucia Milpas Altas**



Fuente: Román, 2008.

2.1.4. **Rehabilitación CA-9 sur Amatitlan – Palín Escuintla**

Rehabilitación del tramo carretero de 7,00 kilómetros de longitud, localizado al sur occidente de Guatemala, evaluado en el punto kilométrico 33+000 de la carretera CA-9 sur, carretera que comunica el municipio de Amatitlan del departamento de Guatemala, y el municipio de Palín del departamento de Escuintla (ver figura 24).

Figura 25. **Rehabilitación CA-9 sur Amatitlan – Palin**



Fuente: Román, 2008.

2.1.5. **Rehabilitación CA-1 oriente Pueblo Nuevo Viñas - El Cernal**

Rehabilitación del tramo carretero de 4,9 kilómetros de longitud, localizado al sur oriente de Guatemala, evaluado en el punto kilométrico 44+300 de la carretera CA-1 oriente, carretera que comunica Pueblo Nuevo Viñas, y El Cernal, ambos del departamento de Santa Rosa (ver figura 25).

Figura 26. **Rehabilitación CA-9 oriente Pueblo Nuevo Viñas – Cerinal**



Fuente: Román, 2008.

2.2. Tipos y características constructivas de los pavimentos bajo seguimiento

Los pavimentos de los tramos carreteros que son objeto de seguimiento, en su mayoría utilizan el mismo método constructivo, aunque con el pasar del tiempo se han realizado cambios como consecuencia del comportamiento que los mismos han tenido en el tiempo, a continuación se describen para cada caso las características constructivas principales y sus cambios:

2.2.1. Rehabilitación CA-1 OCC Tecpan – Los Encuentros

Este tramo carretero es rehabilitado desde su inicio con la utilización del método constructivo de losas cortas, sin utilizar refuerzo estructural, presentando las características mostradas en la tabla I.

Tabla I. **Características rehabilitación CA-1 OCC Tecpan – Los Encuentros**

CARACTERÍSTICA	Calzada Derecha	Calzada Izquierda
MÉTODO CONSTRUCTIVO	LOSAS CORTAS	LOSAS CORTAS
DIMENSIONAMIENTO DE LOSAS	1,80 m x 1,80 m	1,80 m x 1,80 m
DIRECCIONAMIENTO DE CORTE EN LOSAS	Perpendicular ambos sentidos	Perpendicular ambos sentidos

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. CA-9 sur autopista Escuintla – Puerto Quetzal

Inicialmente se construye la autopista que une la cabecera departamental de Escuintla con Puerto Quetzal (actualmente vía con dirección norte-sur), posteriormente se complementa la autopista con la construcción del pavimento en dirección (sur-norte), con las características mostradas en tabla II.

Tabla II. **Características autopista Escuintla - Puerto Quetzal**

CARACTERÍSTICA	Calzada Derecha (Norte-Sur)	Calzada Izquierda (Sur-Norte)
MÉTODO CONSTRUCTIVO	LOSAS TRADICIONALES	LOSAS CORTAS
DIMENSIONAMIENTO DE LOSAS	4,2 m x 3,5 m	Variable (1,8 m a 2,0 m)
DIRECCIONAMIENTO DE CORTE EN LOSAS	Perpendicular ambos sentidos	Variable (perpendicular y con esviaje de 30 grados)

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. **Rehabilitación CA-9 norte Guatemala – Agua Caliente**

Este tramo carretero es rehabilitado desde su inicio con la utilización del método constructivo de losas cortas, sin utilizar refuerzo estructural, presentando las características de la tabla III.

Tabla III. **Características rehabilitación CA-9 norte Guatemala - Agua Caliente**

CARACTERÍSTICA	Calzada (Norte-Sur)	Calzada (Sur-Norte)
MÉTODO CONSTRUCTIVO	LOSAS CORTAS	LOSAS CORTAS
DIMENSIONAMIENTO DE LOSAS	1,80 m x 1,80 m	1,80 m x 1,80 m
DIRECCIONAMIENTO DE CORTE EN LOSAS	Perpendicular ambos sentidos	Perpendicular ambos sentidos

Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Rehabilitación CA-1 occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez - Santa Lucia Milpas Altas

Este tramo carretero es rehabilitado desde su inicio con la utilización del método constructivo de losas cortas, sin utilizar refuerzo estructural, presentando las características de la tabla IV.

Tabla IV. **Características rehabilitación CA-1 occidente Ciudad San Cristóbal-San Lucas Sacatepéquez-Santa Lucia Milpas Altas**

CARACTERÍSTICA	Calzada (Norte-Sur)	Calzada (Sur-Norte)
MÉTODO CONSTRUCTIVO	LOSAS CORTAS	LOSAS CORTAS
DIMENSIONAMIENTO DE LOSAS	1,80 m x 1,80 m	1,80 m x 1,80 m
DIRECCIONAMIENTO DE CORTE EN LOSAS	Perpendicular ambos sentidos	Perpendicular ambos sentidos

Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Rehabilitación CA-9 sur Amatitlan – Palin Escuintla

Este tramo carretero es rehabilitado desde su inicio con la utilización del método constructivo de losas cortas, sin utilizar refuerzo estructural, presentando las características de la tabla V.

Tabla V. Características Rehabilitación CA-9 sur Amatitlan - Palin Escuintla

CARACTERÍSTICA	Calzada (Norte-Sur)	Calzada (Sur-Norte)
MÉTODO CONSTRUCTIVO	LOSAS CORTAS	LOSAS CORTAS
DIMENSIONAMIENTO DE LOSAS	1,80 m x 1,80 m	1,80 m x 1,80 m
DIRECCIONAMIENTO DE CORTE EN LOSAS	Perpendicular ambos sentidos	Perpendicular ambos sentidos

Fuente: elaboración propia.

2.2.6. Rehabilitación CA-9 oriente Pueblo Nuevo Viñas - El Cernal, Barberena, Santa Rosa

Este tramo carretero es rehabilitado desde su inicio con la utilización del método constructivo de losas cortas, sin utilizar refuerzo estructural, presentando las características de la tabla VI.

Tabla VI. Características rehabilitación CA-9 oriente Pueblo Nuevo Viñas - El Cernal

CARACTERÍSTICA	Calzada (Norte-Sur)	Calzada (Sur-Norte)
MÉTODO CONSTRUCTIVO	LOSAS CORTAS	LOSAS CORTAS
DIMENSIONAMIENTO DE LOSAS	1,80 m x 1,80 m	1,80 m x 1,80 m
DIRECCIONAMIENTO DE CORTE EN LOSAS	Perpendicular ambos sentidos	Perpendicular ambos sentidos

Fuente: elaboración propia.

3. SEGUIMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO Y SU CONDICIÓN FÍSICA A FEBRERO DE 2012

Este capítulo contiene consignada la referencia de la condición física al mes de febrero de 2012, de los tramos carreteros bajo seguimiento, dichas condiciones se han evaluado a nivel visual con la finalidad que a simple vista se pueden establecer el tipo de falla, su característica y el sector de ubicación.

3.1. Antecedentes

La mayoría de los pavimentos descritos en el capítulo 2 han sido seleccionados por la importancia que los mismos tienen como medio de desarrollo en el país, es por esto que se hace necesario realizar el seguimiento del comportamiento de los mismos, como consecuencia de los distintos métodos que se han empleado en su construcción.

3.1.1. Respecto al método constructivo

En un inicio los pavimentos de este tipo, se construyeron con métodos tradicionales a nivel de dimensionamiento de losas, con los cuales fue necesario incluir algún tipo de refuerzo estructural, pero según Covarrubias, con la aplicación del menor dimensionamiento de losas, reducción de espesor en carpeta de rodadura y la omisión de refuerzo estructural, se hace necesario establecer su clasificación.

3.1.2. Respecto a características de falla antes mencionadas

Según experiencias sobre este tipo de pavimentos, los métodos tradicionales de construcción presentan fallas similares, dentro de las cuales destacan las fallas de esquina, fallas longitudinales, fallas transversales de corte a mitad de la losa y desgaste de superficie; en la actualidad con la construcción con nuevos métodos constructivos se han detectado nuevos tipos de falla, dentro de las cuales están las fallas por choque entre losas, desplazamiento de losas en el sentido longitudinal y transversal, y deformaciones verticales entre losas.

3.2. Condición actual de los pavimentos bajo seguimiento

En este subcapítulo se hará la descripción y tabulación de las condiciones generales, tanto de sus condiciones iniciales, como de la condición actual, características de falla puntual en cada uno de los tramos de pavimentos que son objeto de seguimiento.

3.2.1. Descripción de las condiciones físicas

Estudios previos (Román, 2008) proponen para realizar la descripción del estado de condiciones físicas de los pavimentos, una clasificación del grado de deterioro en función de la cantidad de fallas localizadas en tramos de evaluación, criterio que se tomará como base para realizar el seguimiento de este tipo de pavimentos.

A continuación se presentan los tipos de fallas estructurales que se han tomado en consideración para realizar el seguimiento de los pavimentos:

- Falla de esquina (desportillado)
- Falla por choque entre losas (desportillado)
- Falla de corte longitudinal o transversal
- Separación o deslizamiento de losas longitudinal o transversal
- Asentamiento o bombeo en losas (deformación vertical)
- Desgaste en la carpeta de rodadura

Los estudios previos (Román, 2008) sugiere que la clasificación del grado de deterioro de los pavimento en evaluación, sea considerado en función del tipo de deterioro presente a nivel de fallas presentes, tomando como referencia una ubicación arbitraria dentro del tramo en evaluación, en una longitud de evaluación de 1 kilómetro en todos los carriles, y en ambas calzadas del tramo, cuando estas contengan mediana es su estructura, ver tabla VII.

Tabla VII. **Clasificación del grado de deterioro en función del número de fallas localizadas**

CLASIFICACIÓN	NUMERO DE FALLAS POR CALZADA
Leve	1 a 20
Moderada	20 a 50
Severa	Mayor a 50

Fuente: Román, 2008.

Debe también considerarse la edad de los pavimentos y las fallas presentes, con la finalidad de realizar el mantenimiento preventivo y en el caso extremo el mantenimiento correctivo.

Tomando en consideración lo anterior, se sugiere el monitoreo constante de los pavimentos una vez por año, para determinar su desempeño real respecto a las solicitaciones de tráfico y evaluaciones inmediatas cuando se presente algún tipo de falla irregular que pudiera generar incomodidad o riesgo para el conductor.

En el caso específico de este informe, se establecen referencias de ubicación kilométrica específica, para que sirvan para la realización de evaluaciones posteriores en el mismo sector del tramo carretero y establecer de mejor manera su comportamiento estructural.

A continuación se presentan las condiciones estructurales iniciales, de diseño y método constructivo de los pavimentos bajo seguimiento, ver tabla VIII.

Tabla VIII. Condiciones estructurales, de diseño, y método constructivo

Tramo	Tipo	Pista o Calzada	Forma Geométrica	Dimensión de Losa (cm)	Espesor de losa (cm)	Longitud (km)	Método Constructivo
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	PCH	Ambas	Cuadrada	180 X 180	En construcción	11	Losa corta
CA-9 Sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	PCH	Derecha	Rectangular	450 X 350	25	43,88	Tradicional y losa corta
		Izquierda	Cuadrada	180 X 180	15		
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	PCH	Ambas	Cuadrada	180 X 180	20	20,75	Losa corta
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucia	PCH	Ambas	Cuadrada	180 X 180	18	18,2	Losa corta
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palín Escuintla	PCH	Ambas	Cuadrada	180 X 180	20	7	Losa corta
Rehabilitación CA-1 Oriente Pueblo nuevo Viñas – El Cermal, Barberena,	PCH	Ambas	Cuadrada	180 X 180	18	4,9	Losa corta

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Condición respecto al tiempo de servicio prestado

A continuación se presentan las condiciones de los pavimentos bajo seguimiento, según el tiempo de servicio que han prestado desde la finalización de su construcción hasta el día que se realizó la evaluación visual, ver tabla IX.

Tabla IX. Condición actual según tiempo de servicio

Tramo	Año inicio de Servicio	Tipo	Pista o Calzada	Tiempo de Servicio (No. Años)	Deterioro
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	2007	PCH	Ambas	4 (Aun construyendo)	Leve
CA-9 Sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	1989 2003	PCH	Derecha	22	Moderado
			Izquierda	8	Severo
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	2007	PCH	Ambas	4	Leve
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucia Milpas Altas	2006	PCH	Ambas	5	Leve
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palín Escuintla	2006	PCH	Ambas	5	Leve
Rehabilitación CA-1 Oriente Pueblo nuevo Vías - El Cerinal, Barberena, Santa Rosa	2005	PCH	Ambas	6	Leve

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Condición según fallas localizadas en tramo de evaluación

En esta sección se estableció la cantidad de fallas estructurales visibles en una longitud de 1 kilómetro en los distintos tramos, ver tabla X.

Tabla X. Condición actual según fallas presentes localizadas

Tramo	Ubicación kilométrica de evaluación (km)	Calzada	Falla de esquina	Falla de choque entre losas	Falla de Separación entre losas	Falla de asentamiento de losas	Falla de corte longitudinal o transversal
CA-9 Sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	95+000-96+000	Derecha	12	27	No	No perceptible	16
		Izquierda	Mayor a 50	Mayor a 50	Ambos Sentidos	Severo	Mayor a 50
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	9+800-10+800	Ambas	27	36	Ambos Sentidos	Moderado	12 en zona de Bacheo
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucia Milpas Altas	24+500-25+500	Ambas	4	19	Ambos Sentidos	Leve	0
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palín Escuintla	33+000-34+000	Ambas	6	14	Ambos Sentidos	Leve	0
Rehabilitación CA-1 Oriente Pueblo nuevo Viñas - El Cerinal, Barberena, Santa Rosa	44+300-45+300	Ambas	17	33	Ambos Sentidos	Moderado	2
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	93+000-94+000	Ambas	41	Mayor a 50	Ambos Sentidos	Moderado	0

Fuente: elaboración propia.

3.3. Análisis de datos obtenidos en evaluación física de los pavimentos

En función de las características físicas que han presentado actualmente los pavimentos bajo seguimiento, se realiza el análisis de forma comparativa de los datos que referencia al tipo y cantidad de fallas presentes, en la actualidad y los registros previos que se tiene sobre los mismos.

3.3.1. Registros anteriores de los pavimentos bajo seguimiento

Los pavimentos de concreto hidráulico han generado con anterioridad la interrogante respecto al comportamiento estructural de los mismos, donde se ha utilizado el método constructivo de losas cortas, inicialmente se realizó un estudio sobre los mismos, donde se realizó una evaluación visual para establecer las condiciones que en ese momento presentaban los pavimentos.

A continuación se presentan los datos reflejados en el estudio inicial (Román, 2008) respecto al comportamiento de los pavimentos, se establecen las principales características de fallas localizadas en un período de tiempo específico de servicio de los pavimentos, se establecen también las características de deterioro en ese mismo periodo de servicio, ver tablas XI y XII.

Tabla XI. **Características generales de fallas localizadas en pavimentos de evaluación (antecedentes en estudio inicial)**

Tramo	Desportillado	Falla de corte en esquina de losa o agrietamiento	Desgaste superficial	Asentamiento leve
Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	si	SI	SI	si
	Si	Si	Si	Si
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	si	NO	SI	Si
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucia Milpas Altas	si	NO	SI	si
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palín Escuintla	si	NO	SI	si
Rehabilitación CA-1 Oriente Pueblo nuevo Viñas - El Cerinal, Barberena, Santa Rosa	si	NO	SI	si
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	En construcción	N/A	N/A	N/A

Fuente: Román, 2008.

Tabla XII. **Clasificación del grado de deterioro de pavimentos objeto de evaluación en función de la edad del pavimento (antecedentes en estudio inicial)**

Tramo	Tipo	Pista o Calzada	Edad del Pavimento (No. Años)	Deterioro
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	PCH	Ambas	En construcción	N/a
Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	PCH	Derecha	19,6	Moderado
		Izquierda	5,4	Severo
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	PCH	Ambas	0,8	Leve
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucia Milpas Altas	PCH	Ambas	1,25	Leve
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palin Escuintla	PCH	Ambas	1,1	Leve
Rehabilitación CA-1 Oriente Pueblo nuevo Viñas - El Cerinal, Barberena, Santa Rosa	PCH	Ambas	1,1	Leve

Fuente: Román, 2008.

3.3.2. Condición según evaluación actual

A continuación se presentan los datos necesarios para realizar el análisis comparativo de datos de registros existentes anteriores, y datos actualizados, respecto a las fallas estructurales presentes en los pavimentos bajo seguimiento, ver tablas XIII y XIV.

Tabla XIII. Condición actual según fallas presentes localizadas

TRAMO	Ubicación kilométrica de evaluación (km)	Calzada	Falla de esquina	Falla de choque entre losas	Falla de Separación entre losas	Falla de asentamiento de losas	Falla de corte longitudinal o transversal	Deterioro
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	93+000-94+000	Ambas	41	Mayor a 50	Ambos Sentidos	Moderado	0	Moderado
CA-9 Sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	95+000-96+000	Derecha	12	27	No	No perceptible	16	Moderado
		Izquierda	Mayor a 50	Mayor a 50	Ambos Sentidos	Severo	Mayor a 50	Severo
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	9+800-10+800	Ambas	27	36	Ambos Sentidos	Moderado	12 en zona de Bacheo	Moderado
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucía Milpas Altas	24+500-25+500	Ambas	4	19	Ambos Sentidos	Leve	0	Leve
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palm Escuintla	34+000-33+000	Ambas	6	14	Ambos Sentidos	Leve	0	Leve
Rehabilitación CA-1 Oriente Pueblo nuevo Yñías – El Cerrial, Barberena, Santa Rosa	44+300-45+300	Ambas	17	33	Ambos Sentidos	Moderado	2	Moderado

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Condición actual según tiempo de servicio**

Tramo	Año inicio de Servicio	Tipo	Pista o Calzada	Tiempo de Servicio (No. Años)	Deterioro
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	2007	PCH	Ambas	4 (Aun construyendo)	Moderado
CA-9 Sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	1989 2003	PCH	Derecha	22	Moderado
			Izquierda	8	Severo
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	2007	PCH	Ambas	4	Moderado
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucia	2006	PCH	Ambas	5	Leve
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palin Escuintla	2006	PCH	Ambas	5	Leve
Rehabilitación CA-1 Oriente Pueblo nuevo Viñas - El Cernal, Barberena, Santa	2005	PCH	Ambas	6	Moderado

Fuente: elaboración propia.

Realizando el análisis de los datos de registros anteriores y de los datos recopilados en la evaluación actual de la condición estructural de los

pavimentos, se establece el siguiente comportamiento de deterioro que han presentado los pavimentos bajo seguimiento, ver tabla XV.

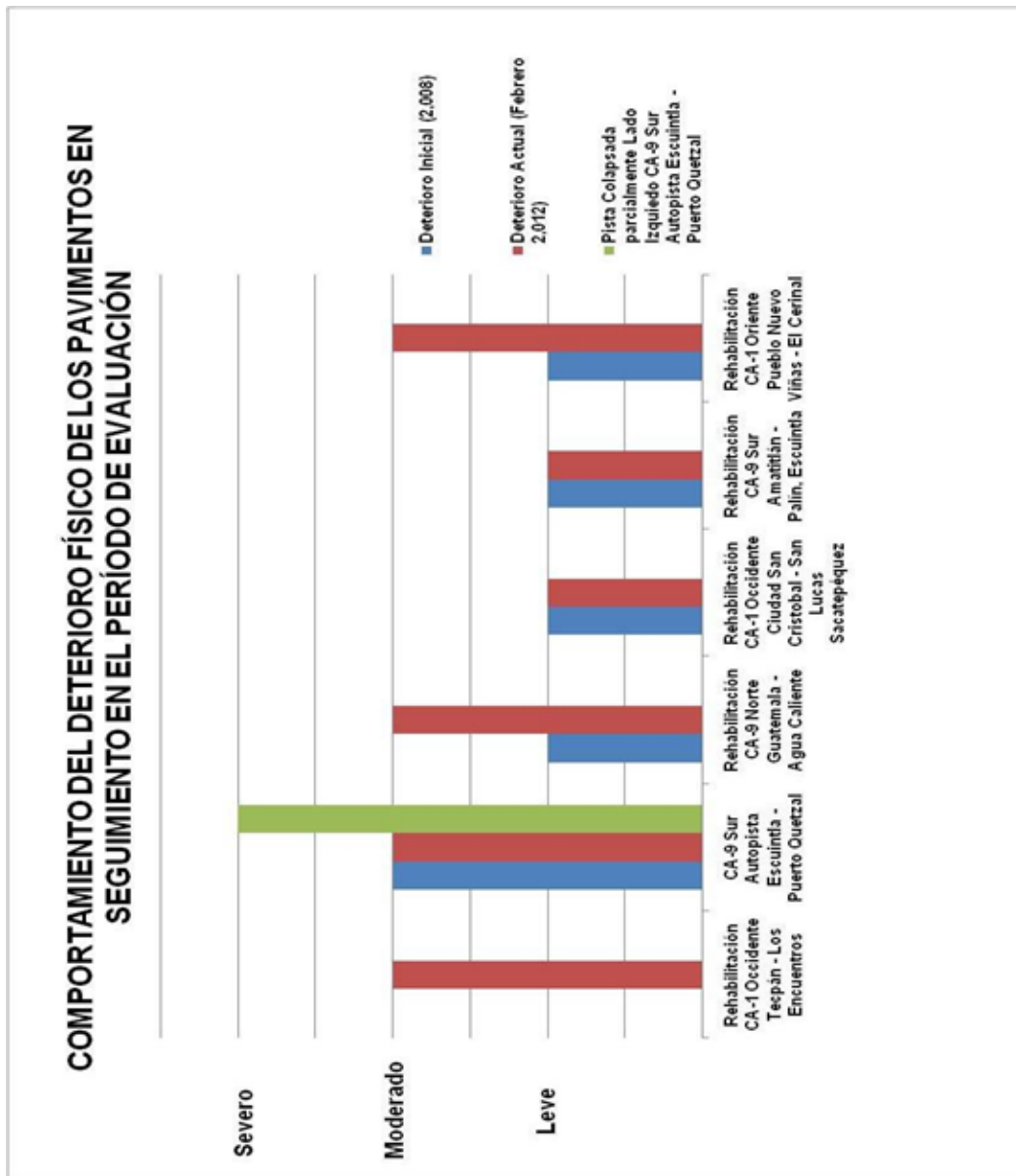
Tabla XV. **Análisis de deterioro según períodos de evaluación**

Tramo	Año inicio de Servicio	Registro Inicial (Año)	Registro Actual (Año)	Pista o Calzada	Deterioro Registro Inicial	Deterioro Registro Actual
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	2007	2008	2012	Ambas	N/A	Moderado
CA-9 Sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	1989 2003	2008	2012	Derecha	Moderado	Moderado
				Izquierda	Severo	Severo
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	2007	2008	2012	Ambas	Leve	Moderado
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucía Milpas Altas	2006	2008	2012	Ambas	Leve	Leve
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palín Escuintla	2006	2008	2012	Ambas	Leve	Leve
Rehabilitación CA-1 Oriente Pueblo nuevo Viñas - El Cerinal, Barberena, Santa Rosa	2005	2008	2012	Ambas	Leve	Moderado

Fuente: elaboración propia.

Considerando los datos de la tabla XV, gráficamente se tiene el siguiente comportamiento, ver figura 26.

Figura 27. Gráfico del comportamiento del análisis de deterioro



Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Análisis del comportamiento de deterioro de los pavimentos durante el período de evaluación

Para la realización del seguimiento del comportamiento de los pavimentos, contruidos principalmente con el método de losas cortas, se contaba con un registro previo respecto del deterioro de los mismos, y desde ese período hasta el día de hoy, han transcurrido 4 años, período de tiempo durante el cual da la posibilidad de determinar el siguiente comportamiento, ver tabla XVI.

Tabla XVI. **Análisis comparativo del deterioro de los pavimentos según el período de evaluación actual**

Tramo	Periodo de Evaluación (Años)	Comportamiento de Deterioro en el periodo de evaluación
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	4	Aumentó
CA-9 Sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	4	Lado derecho estable
CA-9 Sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	4	Lado izquierdo aumentó
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	4	Aumentó
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez-Santa Lucia Milpas Altas	4	Estable
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palin Escuintla	4	Estable
Rehabilitación CA-1 Oriente Pueblo nuevo Viñas - El Cerinal, Barberena, Santa Rosa	4	Aumentó

Fuente: elaboración propia.

4. INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SEGUIMIENTO

4.1. Generalidades

Este capítulo contiene la interpretación del análisis comparativo de datos obtenidos sobre los pavimentos bajo seguimiento, haciendo referencia a la importancia del refuerzo estructural en los pavimentos, se resumirán las características que hacen diferencia entre los métodos tradicionales y la innovación en el método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico.

Con la finalidad de tener una acertada interpretación de los resultados para el análisis realizado, se ha considerado la mayor cantidad de información posible, aunque en el caso específico de los pavimentos bajo seguimiento, se han realizado observaciones iniciales (Román, 2008) sobre su deterioro pero aún no se lleva el registro real de su comportamiento por estar empleando el método constructivo de losas cortas en Guatemala.

4.2. Análisis de los métodos constructivos empleados en los pavimentos bajo seguimiento

El análisis realizado en este subcapítulo, muestra las diferencias, ventajas y desventajas, de los métodos constructivos, empleados en la construcción de pavimentos bajo seguimiento.

4.2.1. Método constructivo para Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo Estructural (PCH RA)

Este tipo de método constructivo, contempla en la estructura del pavimento la utilización de elementos estructurales de refuerzo con la finalidad que este refuerzo ayude a absorber la transmisión de las cargas vehiculares al pavimento, reduciendo el deterioro en su tiempo de servicio.

El método constructivo de pavimentos con refuerzo estructural, toma en consideración los aspectos siguientes:

- Para la utilización del método constructivo de pavimentos con refuerzo estructural, determina una mayor cantidad de tiempo para la ejecución de la construcción de la carpeta de rodadura, dicho incremento en el tiempo de construcción resulta ser consecuencia del armado de estructuras usualmente de acero, y otros dispositivos adicionales que permiten construir de forma eficiente con el método constructivo.
- En función de la cantidad de cargas vehiculares de diseño, puede llegar a ser necesario utilizar grandes espesores de carpeta de rodadura.
- Establece la necesidad de construir juntas especiales de continuidad constructiva longitudinal y transversal.
- Usualmente este método constructivo establece la necesidad de aplicar sellos en los cortes longitudinales y transversales en las losas como protección del pavimento.

Considerando las características de deterioro establecidas en la evaluación actual de los pavimentos bajo seguimiento, este método resulta ser una buena alternativa constructiva, a pesar de presentar un mayor valor económico de inversión inicial, si adicionalmente se considera el valor que representa al mantenimiento periódico comparado con el método constructivo de losas cortas o pavimentos de baja durabilidad.

4.2.2. Método constructivo de losas cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico sin elementos de transferencia (PCH S)

Según el método, la distribución de cargas en el pavimento mejora considerablemente, ya que por la menor concentración de cargas vehiculares por losa, se espera un mejor rendimiento del pavimento, adicionalmente a las ventajas estructurales que induce, ya que con la innovación del método se evitan en la mayoría de los casos, la utilización de elementos de transferencia de carga.

La construcción de este tipo de pavimento, se basa principalmente en la durabilidad y bajo mantenimiento que se espera de este tipo de pavimentos. Aunque todavía no ha sido avalado por la norma AASHTO, PCA u otra entidad, se debe considerar como un método experimental.

Considerando que cualquier método constructivo que se utilice debe cumplir con los requerimientos y calidades de las bases y subbases, la construcción de la capa de rodadura con el método de losas cortas desde el punto de vista constructivo, presenta las siguientes propiedades según su promotor Juan Pablo Covarrubias:

- El diseño establece la reducción considerable del espesor de la carpeta.
- No requiere la utilización de elementos de transferencia de carga vehicular en la estructura de pavimento.
- Junta constructiva sencilla
- No emplea sello de juntas transversal o longitudinal
- Requiere de una cantidad considerable de cortes de losa para garantizar su forma geométrica.

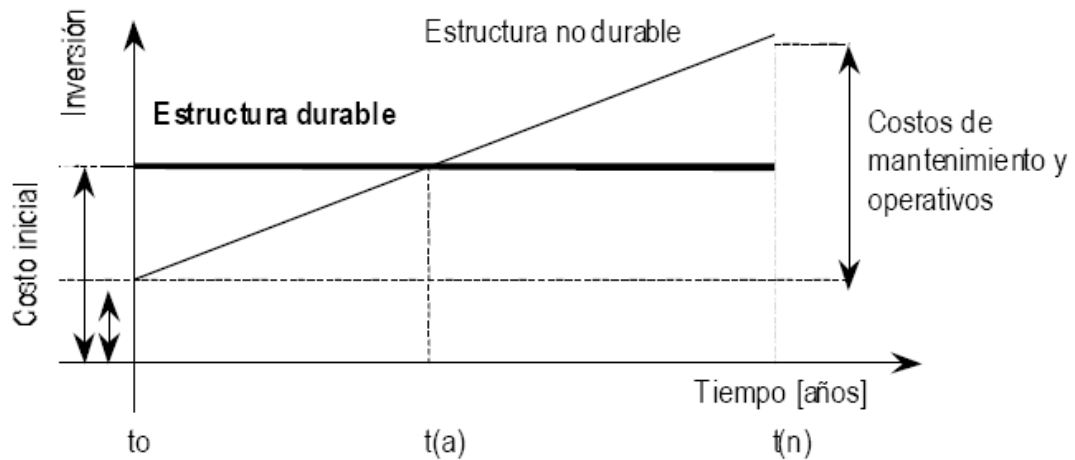
Actualmente el método constructivo de losas cortas puede representar en un inicio una menor inversión económica, comparada con otros métodos constructivos donde se emplean elementos de transferencia de carga, pero actualmente, según la evaluación realizada, este método presenta un deterioro prematuro en los pavimentos bajo seguimiento y evaluación.

4.3. Análisis sobre la utilización de pavimentos de concreto hidráulico como pavimentos durables

La decisión de construir este tipo de pavimento, pretende una disminución de los costos de operación, haciendo el análisis estadístico financiero a largo plazo entre 2 alternativas, una estructura tradicional; es decir, sin considerar la durabilidad, y una estructura diseñada por durabilidad; la primera requiere una menor inversión inicial, pero a través del tiempo requiere inversiones periódicas (mantenimientos) para seguir brindando servicio.

La estructura diseñada por durabilidad tiene una inversión inicial mayor, pero no debería necesitar mantenimientos ni reparaciones mayores para seguir brindando servicio y no acarrear costos operativos, ver figura 27.

Figura 28. **Análisis comparativo de inversión versus tiempo entre estructura durable y no durable**



Fuente: Román, 2008.

Según el análisis comparativo efectuado de los tramos en seguimiento y evaluación, se estableció que evidencian la aparición de fallas que se consideran prematuras, siendo consecuencia dichas fallas, por el empleo del método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico, consecuencia de la reducción considerable de espesores y el uso empleo de dicho método constructivo para realizar trabajos de rehabilitación de carpeta de rodadura, en tramos carreteros en donde anteriormente existían pavimentos de concreto asfáltico.

De los tramos carreteros en seguimiento y evaluación, se estableció que los que poseen por lo menos 1 año de estar en funcionamiento, presentan características físicas y de deterioro, que obligan cambiar el método constructivo, por no cumplir con sus finalidades de diseño, las cuales tendrían que ser pavimentos durables y de bajo mantenimiento.

CONCLUSIONES

1. Se ha realizado el seguimiento del comportamiento físico y de deterioro, de los principales pavimentos hidráulicos, en los cuales se empleó para la construcción, el método constructivo de losas cortas, creando un nuevo registro actualizado del comportamiento de deterioro que han presentado dichos pavimentos.
2. Se han creado registros específicos de ubicación referenciados a nivel cartográfico, para poder continuar con el seguimiento, evaluación física y de deterioro, de los pavimentos que han sido objeto de estudio; puntos específicos que localizan los tramos carreteros en donde se ha empleado el método constructivo de losas cortas para su construcción, los cuales servirán para fortalecer los criterios de mejora a los sistemas constructivos.
3. Según registros existentes sobre el comportamiento físico y de falla de este tipo de pavimentos y su método constructivo, se había establecido que los tramos que han sido evaluados, habían presentado en edades tempranas de servicio deterioro prematuro; con el seguimiento realizado, se establece que los pavimentos han sufrido un incremento en el deterioro físico reflejado en el análisis de fallas.
4. Según el análisis efectuado y el cual refleja un incremento considerable en el deterioro de los pavimentos que han sido objeto de seguimiento y evaluación, se establece que aunque el método constructivo de losas cortas, puede representar en un inicio una menor inversión económica

comparada con otros métodos en donde se emplean elementos de transferencia de carga y refuerzo estructural, estos presentan deterioro prematuro; por lo cual no cumplen con sus finalidades de diseño, las cuales son durabilidad y bajo mantenimiento. Por tales motivos no se considera un método constructivo viable para el uso en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, con altas solicitudes de tráfico vehicular.

RECOMENDACIONES

1. Deben monitorearse de forma continua los tramos carreteros donde se ha construido este tipo de pavimentos y especialmente aquellas en los que se haya empleado el método constructivo de losas cortas, con la finalidad de tener de forma periódica registros confiables del comportamiento físico y de falla, de dichos pavimentos.
2. Realizar el seguimiento y evaluación de este tipo de pavimentos utilizando como referencia la ubicación cartográfica específica, con una periodicidad de 2 años, para crear una base de datos que pueda referenciar el comportamiento de este tipo de pavimentos y su método constructivo.
3. Previamente a construir un pavimento de este tipo y su refuerzo estructural, deben considerarse los registros históricos del comportamiento físico del método constructivo a emplear, pues si desde edades tempranas algunos métodos presentan deterioro prematuro como el método constructivo de losas cortas; deben evaluarse las razones que originan dicho problema y sustituirse por el uso de métodos confiables, como los pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo de acero continuo.
4. Los pavimentos de concreto hidráulico pueden ser considerados como pavimentos durables, una vez presten servicio adecuado al usuario en el tiempo establecido de diseño, por lo cual no debiera presentar ningún tipo de deterioro prematuro en la fase inicial de puesta en servicio, como

es el caso de los pavimentos construidos con el método constructivo de losas cortas; razón por la cual no se recomienda el empleo del método constructivo de losas cortas en la construcción de pavimentos con alto requerimiento de tráfico.

REFERENCIAS

1. Booz, Allen & Hamilton, Barriga Dall'Orto y Wilbur Smith, 1999. Manual de identificación, clasificación y tratamiento de fallas en pavimentos urbanos volumen VII informe final, p. 68-119.
2. Covarrubias, JP (2005). Pavimentos Delgados de Concreto [PDF] recuperado en noviembre de 2007, del sitio web del Instituto Chileno: < http://www.ich.cl/pavimentos_delgados> p. 1-33.
3. Ing. Carlos Crespo Villalaz. Vías de Comunicación Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos. (tercera edición; México: editorial Limusa, 2005) p. 347-384.
4. Ingenieros Consultores de Centro América, S.A., 2001. Especificaciones generales para construcción carreteras y puentes, Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, República de Guatemala, cap. 300, 400, 500 y 550.
5. Mora, S (2006) Pavimento de Concreto Hidráulico [PDF] recuperado en noviembre de 2007, del sitio web: www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/Seminario2006/3.%20Pavimento_Concreto_%20Ing_Mora.pdf p. 1-16.

6. MSc. Ing. Luis Rolando Román Ávila. Tesis de posgrado: Método de losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico. [PDF] Recuperado del sitio web biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0167_mt.pdf p. 1 – 97.

7. Secretaria de Integración Económica de Centro América. Manual Centroamericano Para El Diseño de Pavimentos. (edición 2002) Capítulos 2 al 8.

BIBLIOGRAFÍA

1. Booz, Allen & Hamilton, Barriga Dall'Orto y Wilbur Smith, 1999. Manual de identificación, clasificación y tratamiento de fallas en pavimentos urbanos, volumen VII, informe final. 138 p.
2. Covarrubias, JP (2005). Pavimentos Delgados de Concreto [PDF] recuperado en noviembre de 2007, del sitio web del Instituto Chileno: < http://www.ich.cl/pavimentos_delgados> 33 p.
3. Carlos Crespo Villalaz. Vías de Comunicación Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos. (tercera edición; México: editorial Limusa, 2005) 718 p.
4. Ingenieros Consultores de Centro América, S.A., 2001. Especificaciones generales para construcción carreteras y puentes, Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, República de Guatemala, cap. 300, 400, 500 y 550. 724 p.
5. Mora, S (2006) Pavimento de Concreto hidráulico [PDF] Recuperado en Noviembre de 2007, Del sitio Web: www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/Seminario2006/3.%20Pavimento_Concreto_%20Ing_Mora.pdf 16 p.

6. Msc. Ing. Luis Rolando Román Ávila. Tesis de posgrado: Método de losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico. [PDF] Recuperado del sitio web biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0167_mt.pdf 145 p.

7. Secretaria de Integración Económica de Centro América. Manual Centroamericano Para El Diseño de Pavimentos. (edición 2002) Capítulos 2 al 8. 289 p.

ANEXOS

1. Forma en que se presenta la falla de esquina localizada en pavimentos bajo seguimiento, CA-9 sur Autopista Escuintla – Puerto Quetzal, lado izquierdo (sur-norte), 11/02/2012, kilómetro 95+000 – 96+000.
2. Forma en que se presenta la falla por choque entre losas en pavimentos bajo seguimiento, CA-9 norte Guatemala – Agua Caliente, 12/02/2012, kilómetro 9+800 – 10+800.
3. Forma que se presenta la falla a corte longitudinal o transversal, CA-9 sur autopista Escuintla – Puerto Quetzal, lado izquierdo (sur-norte), 11/02/2012, kilómetro 95+000 – 96+000.
4. Forma en que se presenta la falla por desplazamiento longitudinal y transversal de losas en pavimentos bajo seguimiento, CA-1 oriente Pueblo Nuevo Viñas – El Cerinal, Barberena, Santa Rosa, 12/02/2012, kilómetro 44+300 – 45+300.

1. Anexo 1



Fuente propia: forma en que se presenta la falla de esquina localizada en pavimentos bajo seguimiento, CA-9 sur autopista Escuintla – Puerto Quetzal, lado izquierdo (sur-norte), 11/02/2012, kilómetro 95+000 – 96+000.

2. Anexo 2.



Fuente propia: forma en que se presenta la falla por choque entre losas en pavimentos bajo seguimiento, CA-9 norte Guatemala – Agua Caliente, 12/02/2012, kilómetro 9+800 – 10+800.

3. Anexo 3.



Fuente propia: forma en que se presenta la falla transversal o longitudinal, CA-9 sur autopista Escuintla – Puerto Quetzal, lado izquierdo (sur-norte), 11/02/2012, kilómetro 95+000 – 96+000.

4. Anexo 4.



Fuente propia: forma en que se presenta la falla por desplazamiento longitudinal y transversal de losas en pavimentos bajo seguimiento, CA-1 oriente Pueblo Nuevo Viñas – El Cerinal, Barberena, Santa Rosa, 12/02/2012, kilómetro 44+300 – 45+300.