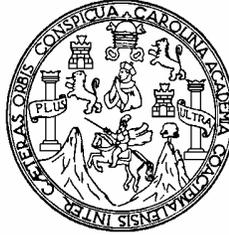


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS EN  
PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

**TESIS**

Presentada a la Junta Directiva de la  
Facultad de Ingeniería

**POR**

**INGENIERO CIVIL LUIS ROLANDO ROMÁN AVILA**

Asesorado por: Msc.Ing. Carlos Leonardo Villagra Ameriso

Al conferírsele el título de

**MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERÍA VIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

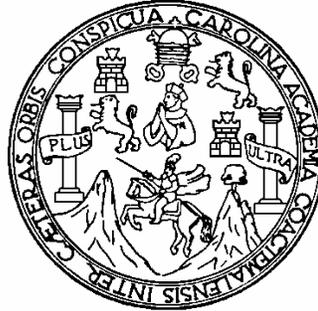


**MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Guerrero de Lopez
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Davila
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA DE  
TESIS**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez
EXAMINADOR	Ing. Leonel Aguilar
EXAMINADOR	Ing. José Monzón
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 26 de julio de 2,007

**LUIS ROLANDO ROMÁN AVILA**

## **AGRADECIMIENTOS A:**

A Dios Todo Poderoso	Una vez mas, por darme la oportunidad de alcanzar otra de mis metas.
Al Ingeniero	Carlos Villagra Ameriso, por su valiosa y asesoría en la realización de este trabajo de graduación.

## **RECONOCIMIENTOS A:**

A la Dirección General de Caminos de Guatemala -DGC-

Al Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-

A la Facultad de Ingeniería.

Y, a todas las personas que me apoyaron y colaboraron para que el trabajo de graduación fuera realizado.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**MIS PADRES**

**Pedro Verona Román**

**Sara Avila de Román**

**MIS HERMANOS**

**Ing. Douglas Román y Arq. Jack Román**

**MIS ABUELOS Y**

**PRIMOS**

**MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS**

**USTED EN ESPECIAL**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRIA EN INGENIRIA VIAL**



**MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS EN  
PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

**INGENIERO CIVIL LUIS ROLANDO ROMÁN AVILA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XI</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XV</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción general de los Pavimentos.....	1
1.1.1 Pavimento.....	1
1.1.1.1 Terreno de Fundación.....	1
1.1.1.2 Material Resistente (Bases y Sub-bases).....	1
1.1.1.3 Material Ligante.....	2
1.1.1.4 Superficie de Rodadura.....	2
1.1.2 Tipos de Pavimentos.....	2
1.1.2.1 Características Principales del Pavimento de Concreto Hidráulico (PCH).....	4
1.1.2.2 Factores que Influyen en el Rendimiento o Performance de los Pavimentos de Concreto Hidráulico.....	4
1.1.2.2.1 Trafico.....	5
1.1.2.2.2 Clima.....	5
1.1.2.2.3 Geometría del Proyecto (Diseño Vial).....	5
1.1.2.2.4 Posición de la Estructura.....	5
1.1.2.2.5 Construcción y Mantenimientos.....	5
1.2 Tipos de Pavimentos de Concreto Hidráulico.....	6

1.2.1	Pavimentos de Concreto Hidráulico Simples (PCH S).....	7
1.2.2	Pavimento de Concreto Hidráulico con Refuerzo de Acero (PCH RA).....	9
1.2.3	Pavimento de Concreto Hidráulico con Refuerzo Continuo (PCH RC).....	10
1.2.4	Pavimento de Concreto Hidráulico Pre o Post-tensado (PCH PP).....	11
1.2.5	Pavimento de Concreto Hidráulico Reforzado con Fibras (PCH RF).....	11
1.3	Consideraciones Para la Elección del Tipo Adecuado de Pavimento.....	12
1.4	Variables de Diseño Para el Tipo de Pavimento.....	13
1.4.1	Terreno de Fundación-Cimiento.....	13
1.4.2	Calidad de Concreto.....	14
1.5	Descripción del Método Constructivo de Losas Cortas.....	15
1.5.1	Variables consideradas en el Análisis de Elementos Finitos.....	16
1.5.2	Análisis de Variables Estructurales Incluidas en el Estudio de Elementos Finitos.....	17
1.5.3	Análisis Mecánico de las Variables, Materiales y Medio Ambiente.	18
1.5.4	Descripción del Método Empírico Mecanicista de Diseño.....	23
1.5.5	Solución Numérica aplicada en el Estudio (Análisis de Elementos Utilizados por ISLAB 2000).....	24
1.5.5.1	Análisis de Flexión de una Placa Infinita.....	28
1.5.5.2	Análisis del Alabeo en Losas Finitas.....	32
1.5.5.3	Determinación de Longitud de Losa.....	35
1.5.5.4	Ejemplo de Aplicación.....	36
1.5.6	Definición del Tamaño de Losas.....	39
1.5.6.1	Método de Diseño PCA.....	40
1.5.6.2	Método de Diseño AASHTO.....	41
1.5.7	Determinación de la Forma Geométrica de las Losas.....	42

1.5.8	Espesor de Las Losas.....	43
1.5.9	Corte de Losas.....	44
1.5.10	Construcción de Juntas y su Transferencia de Cargas.....	47
1.5.10.1	Juntas Transversales de Contracción.....	48
1.5.10.2	Juntas Transversales de Construcción.....	49
1.5.10.3	Juntas Longitudinales.....	51
1.5.10.4	Juntas de Separación y Expansión.....	52
1.6	Fallas Estructurales y Sus Causas en losas de Pavimento Hidráulico.....	55
1.7	Especificaciones Generales Regionales para construcción de Pavimentos	
	De Concreto Hidráulico.....	58
1.7.1	Subrasante.....	59
1.7.1.1	Características de los Materiales de Subrasante.....	59
1.7.1.2	Características de Compactación Para Subrasantes.....	60
1.7.2	Sub Base.....	60
1.7.2.1	Características de los Materiales para Sub Bases.....	61
1.7.2.2	Compactación.....	62
1.7.3	Base.....	62
1.7.3.1	Base Granular.....	62
1.7.3.2	Base Triturada.....	62
1.7.3.3	Materiales.....	63
1.7.3.4	Compactación.....	64
1.7.4	Base Estabilizada.....	64
1.7.4.1	Compactación.....	66
1.7.5	Especificaciones para Concreto.....	67
1.7.5.1	Cementos Hidráulicos.....	67
1.7.5.2	Agregado Fino.....	67
1.7.5.3	Agregado Grueso.....	67
1.7.5.4	Agua.....	68
1.7.5.5	Aditivos.....	68

1.7.5.6	Requisitos para la clase y Resistencia del concreto.....	71
1.8	Clasificación de los Pavimentos de Concreto Hidráulico objeto de Análisis, en función de su Geometría y Capacidad Vehicular.....	72
1.8.1	Autopistas.....	73
1.8.2	Carreteras Troncales.....	73
1.8.3	Carreteras Colectoras.....	74
1.9	Clasificación de los Pavimentos de Concreto Hidráulico objeto de Análisis, en función del Tipo de Estructura y Método Constructivo.....	74
<b>2.</b>	<b>LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO EXISTENTES DE CARÁCTER RELEVANTE.....</b>	<b>75</b>
2.1	Generalidades.....	75
2.2	Ubicación y localización de Carreteras Pavimentadas de concreto Hidráulico Utilizando Losas Cortas.....	75
2.2.1	Construcción Autopista Escuintla - Puerto Quetzal.....	75
2.2.2	Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala-Agua Caliente.....	75
2.2.3	Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal-San Lucas Sacatepequez-Santa Lucia Milpas Altas.....	76
2.2.4	Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan-Palin Escuintla.....	76
2.2.5	Rehabilitación CA-9 Oriente Pueblo Nuevo Viñas-El Cerinal....	76
<b>3.</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE LOS PAVIMENTOS OBJETO DE ANÁLISIS.....</b>	<b>83</b>
3.1	Antecedentes.....	83
3.2	Condiciones Estructurales.....	84
3.3	Clasificación de los pavimentos en evaluación, según dimensionamiento de losas y Fallas Localizadas.....	84

3.4	Clasificación del Grado de Deterioro de los Pavimentos en Evaluación.....	87
3.4.1	Elementos empleados para el Análisis del Grado de Deterioro de los Pavimentos en evaluación.....	87
3.4.2	Equipos que pueden ser empleados para determinar la calidad de los pavimentos construidos en Guatemala.....	90
<b>4.</b>	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS.....</b>	<b>93</b>
4.1	Generalidades.....	93
4.2	Interpretación del Análisis del Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico.....	93
4.3	Interpretación del Análisis de la Condición Actual de Los Pavimentos en evaluación.....	97
<b>5.</b>	<b>INCIDENCIA ECONÓMICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.....</b>	<b>99</b>
5.1	Antecedentes.....	99
5.2	Análisis de la Incidencia Económica.....	99
5.2.1	Agregado Fino (Arena).....	101
5.2.2	Agregado Grueso (Piedrin).....	102
5.2.3	Cemento.....	103
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>105</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>109</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>111</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>113</b>



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Componentes Estructurales de los Pavimentos y de Concreto Hidráulico...	3
2.	Detalle Método constructivo de Juntas para PCH S Sin elementos de Transferencia de Carga.....	7
3.	Detalle Método Constructivo de Refuerzo en Juntas para PCH S con elementos de transferencia de carga o Pasadores.....	8
4.	Detalle Método Constructivo del Refuerzo en PCH RA.....	9
5.	Detalle Método Constructivo de Refuerzo Estructural para PCH RA.....	10
6.	Detalle Método Constructivo de Refuerzo Estructural Continuo PCH RC..	11
7.	Alabeo en losas Cortas y Largas debido al gradiente térmico.....	19
8.	Alabeo en losas Por Gradiente térmicos.....	20
9.	Forma Inicial en que Actúan Las Fuerzas de Alabeo en losas.....	21
10.	Forma en que Actúan las fuerzas de Alabeo en el nuevo dimensionamiento De losas y su longitud.....	21
11.	Ubicación de la deformación por Alabeo en losas largas.....	21
12.	Ubicación de la deformación por Alabeo en losas Cortas.....	22
13.	Ubicación del punto de Falla a Corte provocada por la deformación por Alabeo.....	22
14.	Modelo de Placa Empleada en el análisis del Software ISLAB 2000.....	25
15.	Distribución del Gradiente de Temperatura en una losa de Concreto.....	30
16.	Losa de Dimensiones Finitas.....	32
17.	Factor de Corrección de Esfuerzos en una losa Finita.....	33

18.	Monograma para la determinación del modulo de Rotura.....	40
19.	Comportamiento de agrietamiento en losas en función de la forma geométrica.....	42
20.	Forma Constructiva Tradicional de juntas para continuidad Constructiva del pavimento.....	45
21.	Forma Constructiva de juntas sencilla para continuidad Constructiva del pavimento.....	45
22.	Ubicación de Ejes Vehiculares de Diseño y sus cargas en losas largas Rectangulares de 450 X 350 cm.....	46
23.	Ubicación de Ejes Vehiculares de Diseño y sus Cargas en losas cortas Cuadradas de 175 a 180 cm.....	47
24.	Fotografía de Junta transversal de Construcción.....	50
25.	Fotografía Construcción junta Longitudinal con Formaleta.....	51
26.	Fotografía Junta Longitudinal Sin Formaleta.....	52
27.	Detalle de Junta de Expansión Tipo 1.....	53
28.	Detalle construcción de Juntas de Expansión o Continuidad Tipo 2.....	54
29.	Fotografía de construcción de junta continuidad entre pavimento nuevo y Existente.....	54
30.	Detalle de construcción de junta en estructuras existentes caso de estructura de puentes, paso peatonal, etc. ....	55
31.	Puntos de Falla generados por la aplicación de cargas Vehiculares con alabeo Existente en losas.....	57
32.	Localización General de loa Pavimentos en Evaluación.....	77
33.	Construcción Autopista CA-9 Sur Escuintla-Puerto Quetzal.....	78
34.	Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala-Agua Caliente.....	79
35.	Rehabilitación CA-1 Occidente Mixco San Lucas Sacatepequez Santa Lucia Milpas Altas.....	80

36	Rehabilitación CA-1 Occidente Mixco San Lucas Sacatepequez Santa Lucia Milpas Altas.....	80
37	Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan-Palin.....	81
38	Rehabilitación CA-9 Oriente Pueblo Nuevo Viñas-El Cernal.....	81
39	Fotografía de Equipos de auscultación para ensayos no destructivos.....	91
40	Fotografía de Extracción de Testigos Para ensayos destructivos.....	92
41	Comparación inversión vs tiempo entre estructura durable y no durable.....	95



## TABLAS

I. Variables consideradas en el análisis de elementos finitos.....	16
II. Clasificación general sugerida de los pavimentos objeto de evaluación.....	82
III. Clasificación de los Pavimentos en Evaluación y su dimensionamiento general.....	85
IV. Característica general de fallas localizadas en pavimentos de evaluación.....	86
V. Clasificación del grado de deterioro en función del número de fallas localizadas.....	88
VI. Clasificación del grado de deterioro de pavimentos objeto de evaluación en función de la edad del pavimento.....	89
VII Condición física y estructural de los pavimentos en evaluación.....	96
VIII Índices del consto de venta de agregado fino arena).....	101
IX Índices del costo de venta de agregado grueso (Piedrín).....	102
X Índices del costo de venta de cemento.....	103



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\emptyset$	Diámetro
$\mu\text{m}$	Micrómetro ( $1 \times 10^{-6}$ m)
mm	Milímetro
kg	Kilogramo
m	Metro
“	Pulgada
%	Porcentaje
$\sigma$	Esfuerzos
$\mu$	Módulo de Poisson
$\alpha_t$	Coefficiente de expansión térmica
<b>E</b>	Módulo de elasticidad del concreto



## GLOSARIO

<b>Aglutinante</b>	Sustancia empleada para la unión de elementos o materiales, en el caso de pavimentos refiera a los bitúmenes empleados en mezclas asfálticas o cemento en el caso de pavimentos hidráulicos.
<b>Agregados</b>	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.
<b>Árido</b>	Término empleado como sinónimo de agregado.
<b>Aquaplaning</b>	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.
<b>ASTM</b>	Siglas que corresponden a la entidad <i>AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS</i> . (Sociedad americana para pruebas y materiales).

<b>ESAL</b>	Cargas Equivalentes de ejes sencillos estándar de 8.2 toneladas.
<b>FIRME</b>	Término que hace referencia a la estructura completa del pavimento, incluyendo la composición de todas las capas que lo componen.
<b>HORMIGÓN</b>	Mezcla de Agregados graduados, cemento y agua, conocido como también concreto hidráulico.
<b>IRI</b>	
<b>PCA</b>	International Roughness Index, o el Índice Internacional de Rugosidad
<b>PERFORMANCE</b>	Portland Cement Association, o Asociación de Cemento Pórtland
<b>PUMPING</b>	Rendimiento o entiéndase también el desempeño
<b>SIECA</b>	Término que hace referencia al bombeo transversal de diseño de los pavimentos.
<b>TPDA</b>	Secretaria de Integración Económica de Centro América
	Tránsito Promedio Diario Anual

## RESUMEN

El documento que se presenta a continuación, contiene la evaluación y análisis de las características del método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico, desde el punto de vista teórico mecánico respecto a la distribución de cargas en el dimensionamiento propuesto de losas, y poder establecer diferencias y ventajas de la utilización de dicho método.

La información que se tiene respecto a las características del método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico será complementada con la información de las características generales existentes de este tipo de pavimento, se incluyen también especificaciones regionales para la construcción de los mismos en Guatemala y Centroamérica.

Se analiza el comportamiento estructural de una serie de pavimentos en Guatemala, en los cuales se ha puesto en práctica el método constructivo de losas cortas, principalmente en la rehabilitación de carreteras, mostrando contaminación y fallas preliminares en los mismos y que promueven mantenimientos prematuros de los mismos.

Se establece por medio del análisis de índices relativos de precios, que existe incidencia económica en el mercado de la construcción, motivado por el aumento del precio del cemento, como consecuencia del aumento de demanda cuando se construye este tipo de pavimentos, promoviendo la regulación de la construcción masiva de los mismos, y el aumento de proveedores de materiales que se emplean en su construcción.



## OBJETIVOS

- **General**

Conocer el método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico, su base teórica, las características de su evaluación en modelos de simulación por computadora, y el método de construcción.

- **Específicos**

1. Determinar la eficiencia y características de beneficio estructural que otorga el método constructivo de losas cortas, por medio de la evaluación de pavimentos construidos en Guatemala.
2. Establecer las características presentes de deterioro de los pavimentos construidos en Guatemala con el método constructivo de losas cortas considerando la evaluación de tramos carreteros de carácter relevantes construidos en el país.
3. Establecer la necesidad existente de utilizar y renovar equipos para el control de calidad de pavimentos hidráulicos construidos con el método de losa cortas y la capacitación adecuada del personal que los construye.
4. Establecer la necesidad de evaluar económicamente la construcción de pavimentos hidráulicos en función de los trabajos que intervienen para su construcción, la fluctuación de índices relativos de precios de los principales materiales que se emplean, y el posible impacto medio ambiental provocado por la construcción de los mismos.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación da conocer uno los métodos constructivos de pavimentos que en la actualidad se emplean en Guatemala, utilizados para la rehabilitación y construcción de pavimentos de concreto hidráulico; la base científica que origina su aplicación, y su método constructivo; Exponiendo la importancia que tiene el método constructivo de losas cortas como innovación, y la obligatoriedad de realizar evaluaciones constantes para verificar el desempeño de los pavimentos en los cuales se ha puesto a prueba dicho método.

Expone las características generales, ubicación y localización de los pavimentos en los cuales se ha puesto en práctica el método constructivo, se realizan evaluaciones en cada uno de los pavimentos, estableciendo el grado de deterioro que presentan desde su construcción o inicio de servicio, a la fecha de redacción de este informe; dando a conocer la importancia de llevar los controles respectivos para el mantenimiento de los pavimentos.

Se realizan análisis de las incidencias tanto económicas como medioambientales generadas cuando se construyen de forma masiva pavimentos de concreto hidráulico, dejando la inquietud de establecer medios que disminuyan los impactos generados por dichas incidencias.

# 1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo describe la base teórica, científica y mecánica que da como origen la propuesta y posterior aplicación del método de losas cortas en la construcción de pavimentos rígidos, así como las especificaciones que rigen su ejecución y las características generales para la utilización de este método y tipo de pavimentos.

## 1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PAVIMENTOS

### 1.1.1 Pavimento

Estructura simple o compuesta que tiene una superficie regularmente alisada destinada a la circulación de personas, animales y/o vehículos.

Su estructura es una combinación de capas de agregados con una gradación de resistencia creciente hacia la superficie de rodadura, colocada sobre un terreno de fundación resistente a las cargas, a los agentes climatológicos y a los efectos abrasivos del tránsito.

Las capas de acuerdo a su función estructural están constituidas por material resistente que según su función pueden contener o no material ligante.

#### 1.1.1.1 Terreno de Fundación

Es el terreno debidamente controlado respecto a sus características mecánicas sobre el cual se coloca el 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.

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**

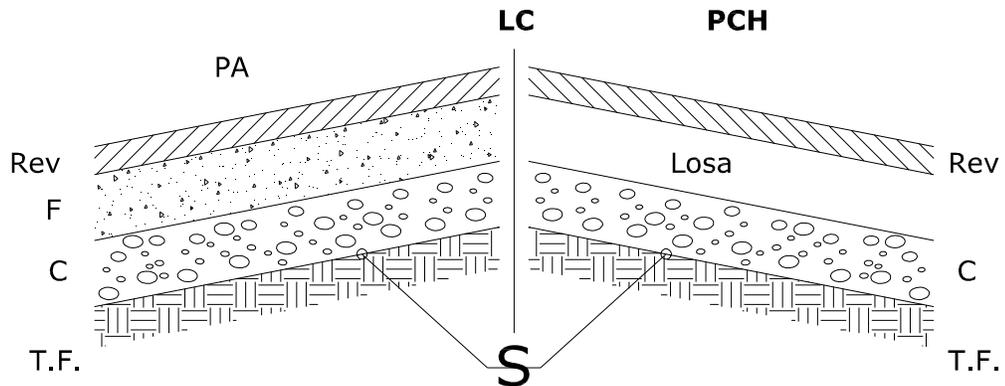
Estructura constituida por diferentes materiales comúnmente agregados de diferentes granulometrías ligados entre si por aglutinantes, cemento o materiales bituminosos, destinada a soportar y transmitir de forma directa las cargas peatonales o vehiculares para los cuales se creo el pavimento.

## **1.1.2 Tipos de Pavimentos**

- A. Pavimentos Asfálticos (PA)
- B. Pavimentos de Concreto Hidráulico (PCH)
- C. Pavimentos Compuestos (Mixtos)
- D. Pavimentos de avanzada tecnológica: a carga plena (base emulsionada Total); a resistencia profunda (base + base emulsionada)
- E. Pavimentos Adoquinados
- F. Otros que van a depender del material, de sus características estructurales y el proceso de construcción (rodillados, líticos, de ladrillo, de planchas metálicas y mixtos), Ver Figura 1.

## Estructura física de pavimentos:

**Figura 1:** Componentes estructurales de los pavimentos asfálticos y de Concreto Hidráulico



### DONDE:

PA = Pavimento Asfáltico

Rev = Revestimiento

F = Base o Base estabilizada

S = Sub – Rasante

C = Cimiento, o Sub-Base

T.F. = Terreno de Fundación

PCH = Pavimento de Concreto Hidráulico.

C = Cimiento, o Sub - base

Rev = Revestimiento de concreto  
de Cemento Portland

T.F. = Terreno de Fundación

De acuerdo al volumen de tránsito, para autopistas o autovías se intercala en pavimentos rígidos una capa de base o base estabilizada, siendo preferible esta última.

## **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 Modulo de Elasticidad), debe tener el espesor suficiente que permita introducir en los casos mas 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.

Debe cumplir con satisfacer también las características principales siguientes de los pavimentos de concreto hidráulico:

### **1.1.2.1 Características principales del Pavimento de Concreto Hidráulico (PCH):**

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

### **1.1.2.2 Factores Principales que influyen en la funcionalidad de los pavimentos de concreto hidráulico**

- Tráfico
- Clima
- Geometría del Proyecto (Diseño Vial)
- Posición de la estructura
- Construcción y Mantenimiento

Para cada uno de los factores anteriores deben en consideración los siguientes aspectos:

#### **1.1.2.2.1 Tráfico**

- 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

#### **1.1.2.2.2 Clima**

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

#### **1.1.2.2.3 Geometría del proyecto (Diseño Vial)**

- Distribución del Tráfico en el Pavimento

#### **1.1.2.2.4 Posición de la Estructura**

- Secciones de corte y relleno
- Profundidad del Nivel Freático
- Deslizamientos y problemas relacionados.
- Depósitos ligeramente profundos

#### **1.1.2.2.5 Construcción y Mantenimiento**

- 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(Árido) Partido(Fracturado)

## **1.2 TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO**

Los pavimentos de Concreto Hidráulico o de Hormigón pueden tipificarse por el tipo de refuerzo contenido en su estructura, pudiendo clasificarse así:

- PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO SIMPLE (PCH S)
  - a) Sin elementos de transferencia de carga.
  - b) Con elementos de transferencia de carga.
- PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO CON REFUERZO DE ACERO (PCH RA)
  - a) Con refuerzo de acero no estructural.
  - b) con refuerzo de acero estructural.
- 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)

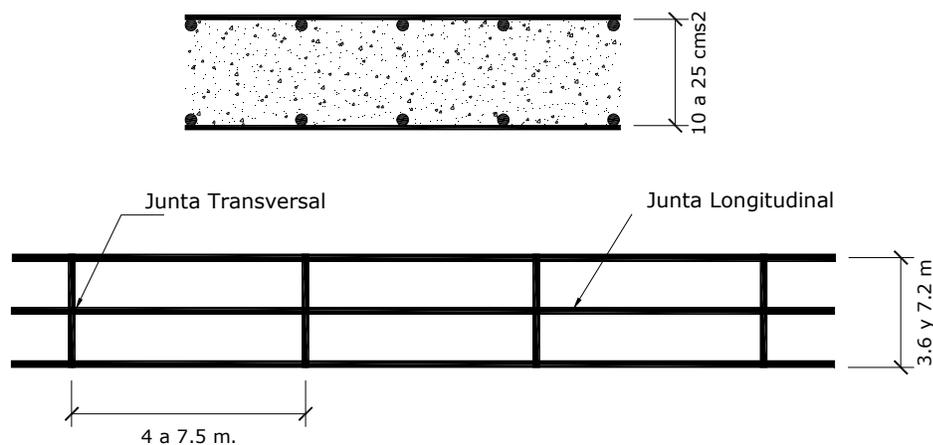
### 1.2.1 PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO SIMPLE (PCH S)

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 aplicación.

- **PCH S 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 solicitaciones), clima templado sugiriendo para condiciones severas de trafico y clima un cimientó granular y/o tratado, para aumentar la capacidad soporte y mejorar la transmisión de carga, Ver Figura 2.

**Figura 2. Detalle Método constructivo de Juntas para PCH S Sin elementos de Transferencia de Carga**

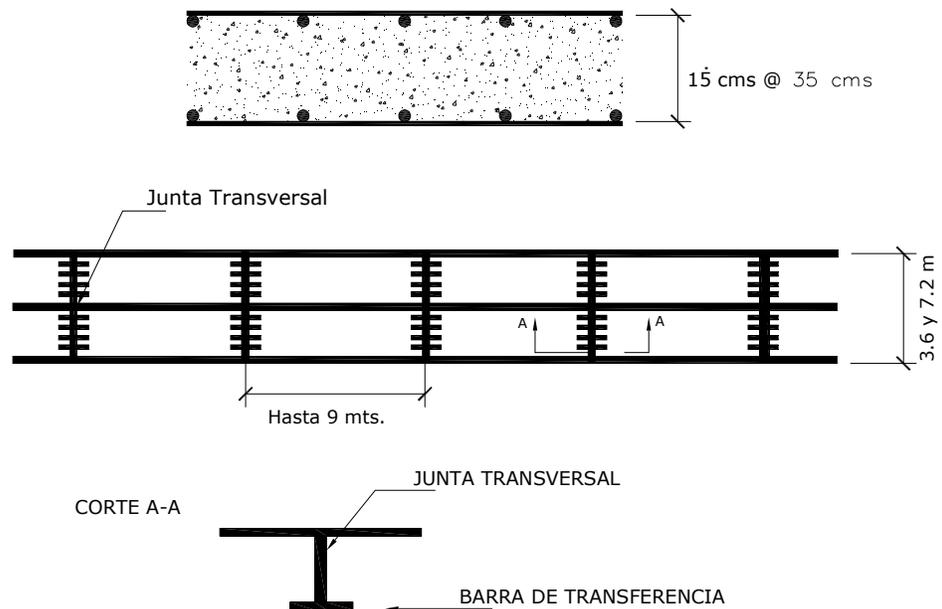


- **Con elementos de Transferencia de Carga o Pasadores**

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 la losa contigua, mejorando las condiciones de deformación en las juntas, evitando los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamiento).

La construcción de este tipo de pavimentos se sugiere para tráfico mayor de 500 Ejes diarios equivalentes de 18,000 libras (ESAL), Ver Figura 3.

**Figura 3. Detalle Método constructivo de refuerzo en juntas para PCH S con elementos de Transferencia de Carga o Pasadores**



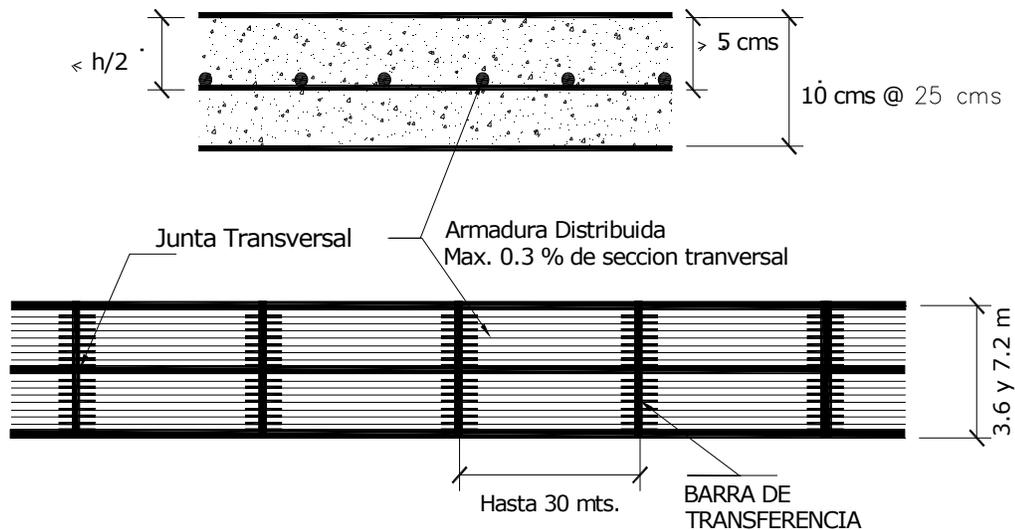
## 1.2.2 PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO CON REFUERZO DE ACERO (PCH RA):

- **Con Refuerzo de Acero no estructural**

El refuerzo no cumple 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 5cm. Bajo la superficie. La sección máxima de acero es de 0.3% de la sección transversal del Pavimento.

Este tipo de pavimento es usualmente empleado en pisos Industriales, Ver Figura 4.

**Figura 4. Detalle Método constructivo del refuerzo en PCH RA**

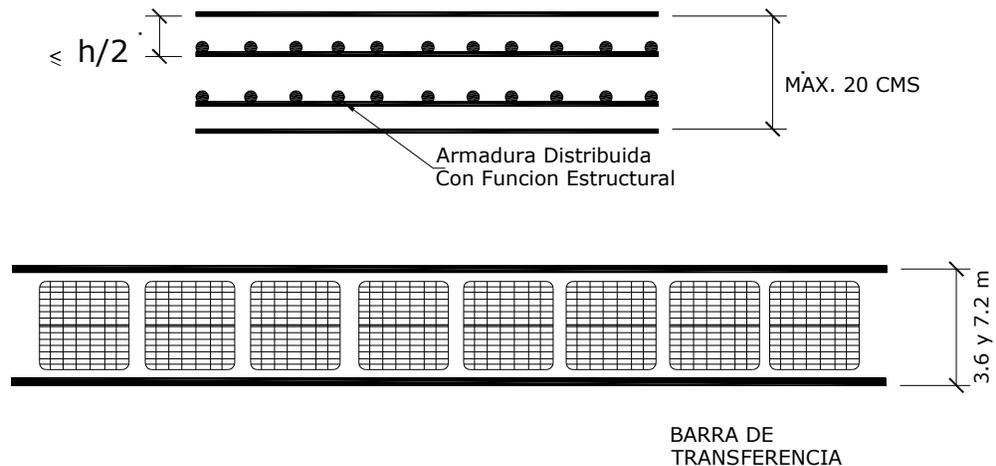


- **Con Refuerzo de Acero estructural**

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

Su aplicación principal es en Pisos Industriales y losas que resisten cargas de gran magnitud. Ver Figura 5.

**Figura 5. Detalle Método constructivo de refuerzo estructural para PCH RA**



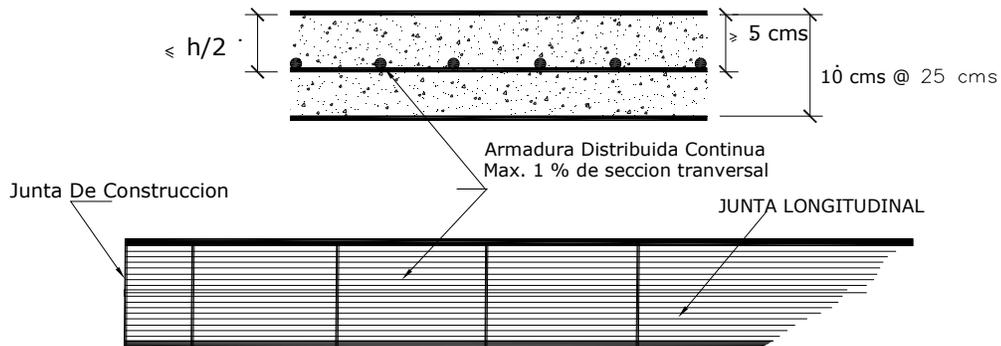
### 1.2.3. Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo Continúo (PCH RC)

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 Figura 6.

**Figura 6. Detalle Método constructivo de refuerzo estructural continuo para PCH RC**



#### **1.2.4 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 vrs reducción del espesor, este tipo de pavimento presenta problemas en su ejecución y mantenimiento.

#### **1.2.5 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 los cuidados requeridos en su ejecución, dificultan su Desarrollo.

### **1.3 CONSIDERACIONES PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO ADECUADO DE PAVIMENTO**

Es fundamental que se realice una adecuada elección del tipo de pavimento a construir, para lograr los objetivos buscados para cada caso y requerimiento, para lo que se deben realizar diferentes consideraciones, dentro de las cuales están:

- Formular diferentes alternativas equivalentes de diseño para las mismas condiciones de Tráfico y de Resistencia del Suelo.
- Establecer la estrategia adecuada para el Mantenimiento y/o Refuerzo.
- Evaluar el costo inicial de Construcción, de Mantenimiento y/o Refuerzo, el Valor Residual de la estructura al termino de la Vida Útil Calculada, los Costos del Usuario (Consumo de Combustible, gastos de Mantenimiento del Vehículo, llantas, confort, etc.) de tal manera, que se obtengan los costos totales de cada uno de las diversas alternativas de diseño.

Entonces:

Del conjunto de Características anteriores y su efectiva evaluación a detalle, puede establecerse que tipo de Pavimento a construir será el de menor costo económico y financiero total, que incluye el costo social y el costo de impacto ambiental.

## **1.4 VARIABLES DE DISEÑO PARA EL TIPO DE PAVIMENTO**

Dentro de las principales variables consideradas para el diseño del pavimento se tienen:

- Terreno de Fundación - Cimiento
- Calidad del Concreto
- Análisis del Tráfico - Clasificación de Vía
- Diseño Geométrico
- Diseño Estructural: Soluciones típicas
- Juntas
- Especificaciones Técnicas

### **1.4.1 Terreno de Fundación – Cimiento**

Si la calidad del Terreno de Fundación es buena, de granulometría uniforme de tipo granular, y que evite el fenómeno de bombeo (Pumping), la losa de concreto se puede colocar directamente sobre ella y no requiere cimentación; Pero generalmente es difícil encontrar Terrenos de Fundación apropiados, por lo que se hace necesario colocar el cimiento, que consiste en intercalar el terreno de fundación en una o más capas de materiales que cumplan las siguientes características:

- Debe proporcionar apoyo uniforme a la losa de Concreto.
- Reducir las presiones en los suelos de apoyo.
- Reducir al mínimo las consecuencias de los cambios de volumen del Terreno de Fundación.
- Reducir al mínimo las consecuencias producidas por los cambios climáticos severos en las secciones de las diferentes capas o la capa superior del Terreno de Fundación.
- Recibir y resistir las cargas de tránsito que se transmiten a través de la base de la losa de concreto.
- Transmitir estas cargas, adecuadamente; distribuyéndolas a las diferentes capas del Pavimento.
- Finalmente, evitar el fenómeno de bombeo (Pumping)

#### 1.4.2 Calidad del Concreto

Las mezclas del Concreto Hidráulico para Pavimentos deben de estar previstas para cumplir principalmente con las siguientes características:

- Garantizar una durabilidad satisfactoria dentro de las condiciones de requerimiento del Pavimento.
- Asegurar la resistencia deseada a la flexión.

Debe considerarse la importancia de la flexión en los Pavimentos de Concreto Hidráulico bajo las cargas aplicadas por los neumáticos, ya que se producen considerables esfuerzos a tensión.

Por otra parte, los esfuerzos de compresión son pequeños en relación a la resistencia misma de diseño, y sin mayor incidencia en el espesor de la losa.

Por lo tanto el concreto hidráulico que se utiliza en los pavimentos debe cumplir con la especificación del mismo, respecto a su resistencia a la flexión, medida por el Módulo de Rotura a Flexión, a los 28 días, Comúnmente reconocida como (MR) expresada en kg/cm<sup>2</sup> y que generalmente para pavimentos en Guatemala se emplea **MR > 45.7 kg/cm<sup>2</sup>**, ampliándose el intervalo cuando las características del lugar y el diseño lo requieren.

## **1.5 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS**

El método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico brinda otra alternativa técnica 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.

También busca el menor número de repeticiones de carga por eje, basados en un análisis de fatiga del concreto, reduciendo el agrietamiento, evitar la falla por bombeo en las losas y el problema en las juntas durante el periodo de diseño.

Debe considerarse la posibilidad de evaluar losas de concreto hidráulico con refuerzo de acero o bien simples (sin refuerzo).

El método de losas cortas ha tomado y analizado los resultados de la evaluación de elementos finitos por medio del programa o software ISLAB2000, el cual utiliza elementos de un análisis de Métodos empírico mecanicista de diseño, tanto los empíricos como elementos comprobados son evaluados por medio de pruebas de laboratorio y tablas previamente establecidas por medio de experiencias previas.

Para la realización del análisis de elementos finitos se contemplan la evaluación de diferentes variables, principalmente estructurales, materiales y medio ambiente, Ver Tabla I

### 1.5.1 Variables consideradas en el análisis de elementos finitos

Tabla I. Variables consideradas en el análisis de elementos finitos

Variables	Disponibilidad	Disponibilidades adicionales
-----------	----------------	------------------------------

#### **ESTRUCTURALES**

Ancho de Línea	144" o 168"	
Ancho de hombro	120"	
Espacio entre juntas	177" o 315"	
Espesor de losa	6" a 12"	
Espesor de base	4" a 16"	
Espesor de Subbase	No mayor a 30"	
Diseño de Juntas	Diámetro de barras de acero en dovelas de 1.25", a 12" del centro del espaciamiento	
Modulo de reacción de subrasante	30 a 200 Psi/pulgada	

#### **MATERIALES**

Tipo de materia para Hombro	Disposiciones generales de normativos para la construcción de concretos	
Coficiente térmico de expansión del concreto	3 a 9 X10 <sup>-6</sup> pulgada/ pulgada / °F	

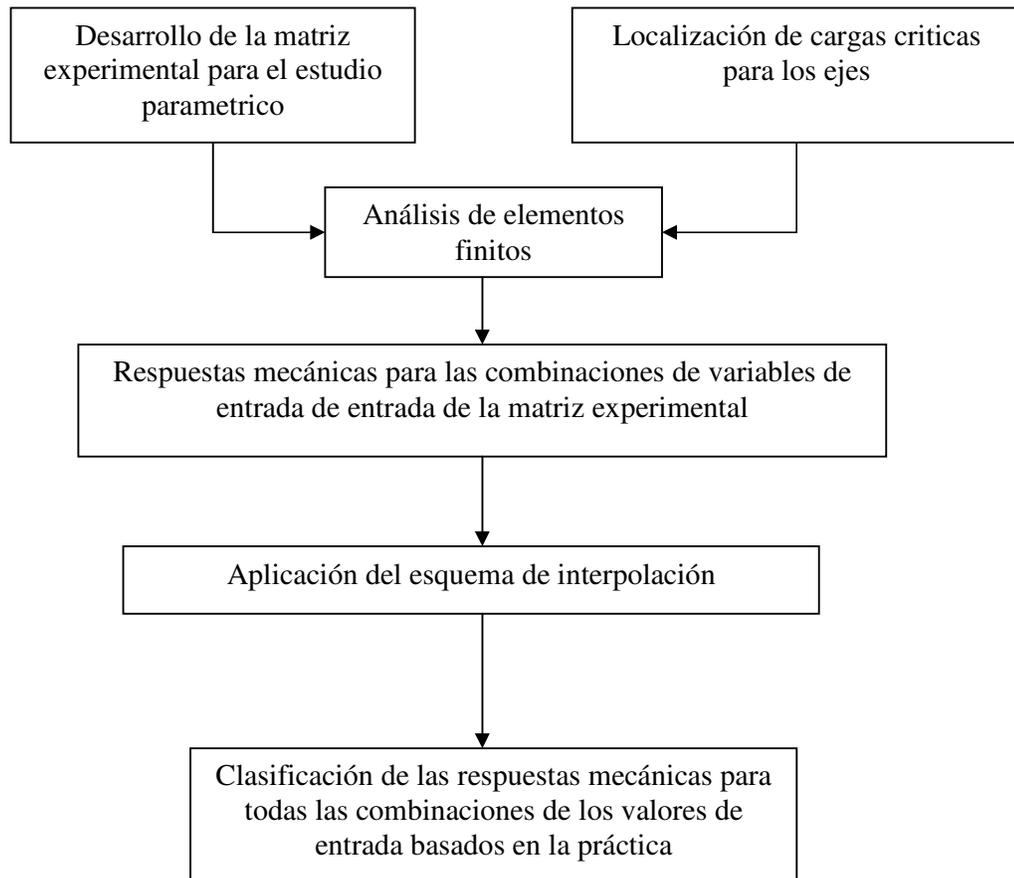
#### **MEDIO AMBIENTE**

Gradiente térmico Positivo	Característico de la Región	0 a +4 °F/ Pulgada
Gradiente Térmico Negativo	Característico de la Región	-4 a 0 °F/ Pulgada

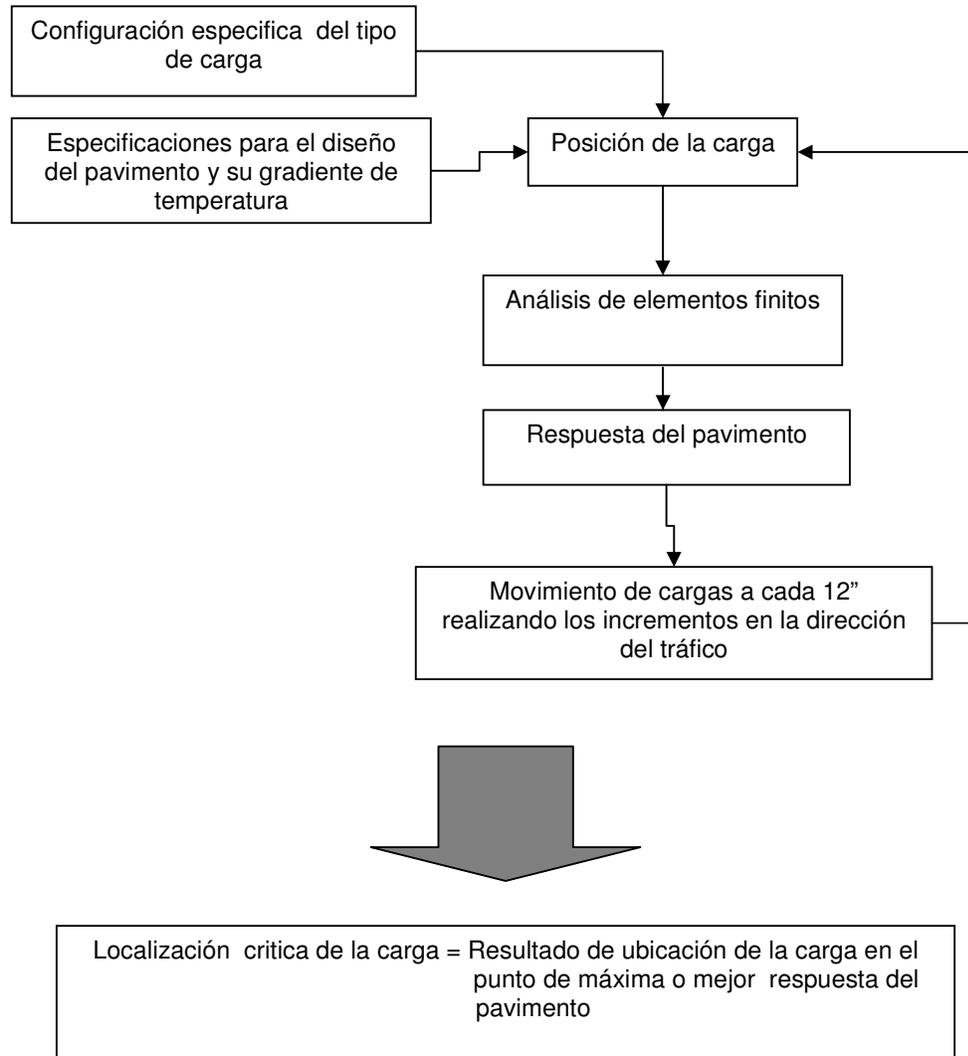
#### **LECTURAS**

Configuración de Ejes	8 configuraciones	
Configuración de Camiones	11 configuraciones	
Condiciones de Lectura	2 (para tenciones críticas)	

### 1.5.2 Análisis de variables estructurales incluidas en el estudio de elementos finitos



### 1.5.3 Análisis mecánico de las variables estructurales, materiales y medio ambiente:



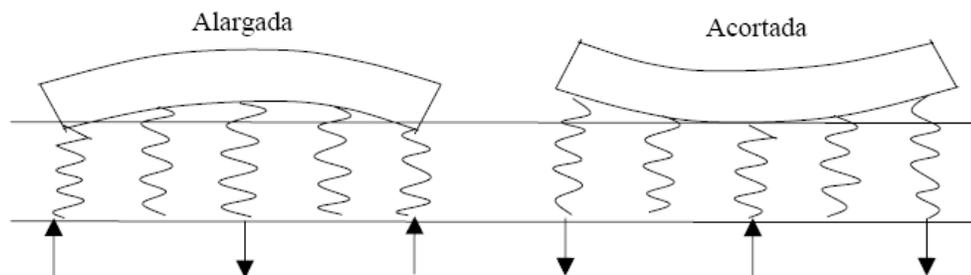
Del análisis anterior se determinan las Características del Comportamiento Mecánico de las losas, en función de la ubicación de la aplicación de la carga destacando los cambios generados con el menor dimensionamiento de la siguiente manera:

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.

El análisis de los esfuerzos de alabeo se puede hacer con la teoría de placa sobre una fundación Winkler o líquida. Donde la fundación Winkler está caracterizada por una placa a la que están pegados una serie de resortes, tal como se muestra en la Figura 7.

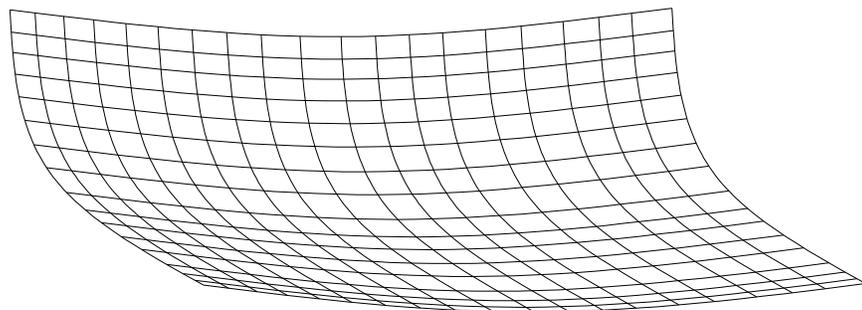
**Figura 7. Alabeo en losas cortas y largas debido al gradiente térmico**



Cuando la temperatura en la parte superior de la losa es más alta que la de 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 de la de 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. Ver Figura 8.

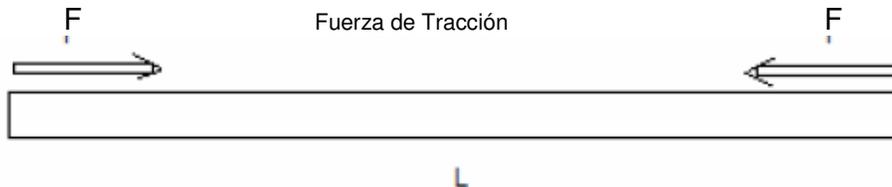
**Figura 8. Alabeo en losas por cambios en gradientes térmicos**



Para poder realizar un verdadero análisis del comportamiento de la losa es necesario establecer la forma de fuerzas actuantes de alabeo que generalmente son consecuencia de cambios en gradientes térmicos y aplicación de cargas.

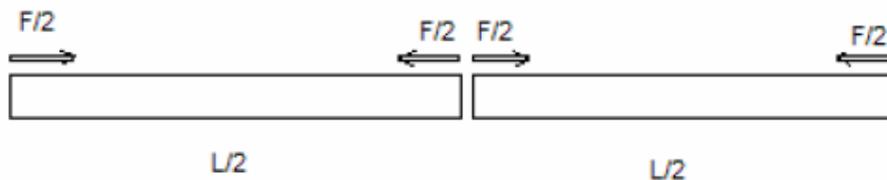
Entonces, analizando la forma en que actúan las fuerzas en la parte superior de la losa tenemos el comportamiento mostrado en las figuras 9, 10:

**Figura 9. Forma Inicial en que actúan la fuerzas de alabeo en losas**



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

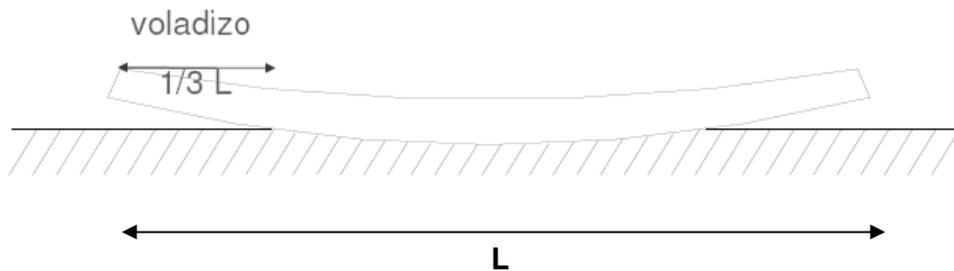
**Figura 10. Forma en que actúan la fuerzas de alabeo en el nuevo Dimensionamiento de losas y su longitud**



Se ha determinado que el efecto de alabeo a lo largo de losa se presenta generalmente de la siguiente forma

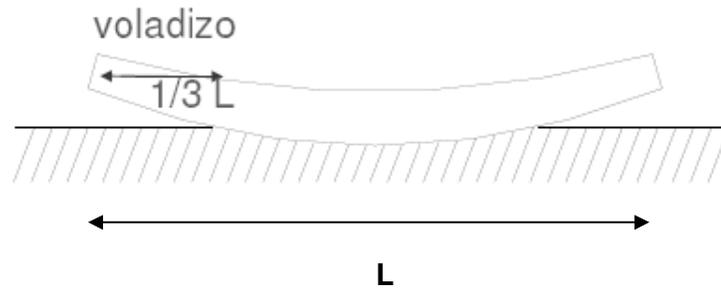
Para losas largas o tradicionales, ver Figura 11.

**Figura 11. Ubicación de la deformación por alabeo en las losas largas**



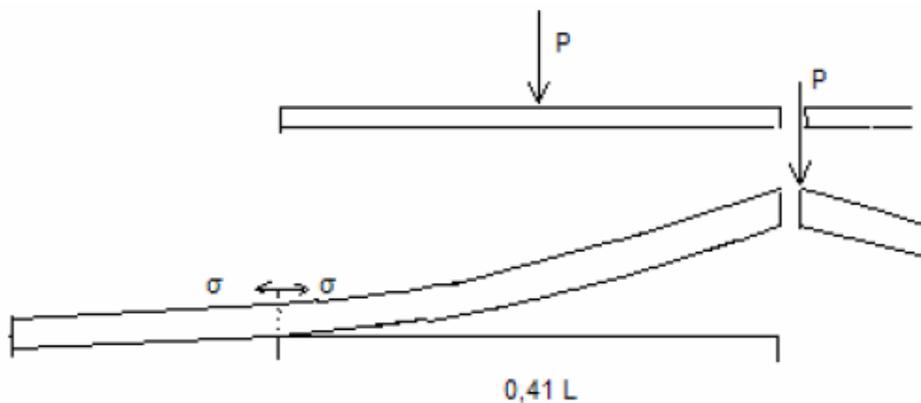
Para losas cortas el comportamiento es el mismo

**Figura 12. Ubicación de la deformación por alabeo en las losas cortas**



Por medio de análisis y pruebas de laboratorio se ha determinado el comportamiento mecánico de las losas y se pudo 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 13

**Figura 13. Ubicación del punto de falla a corte provocada por la deformación de alabeo**



#### **1.5.4 Descripción del método empírico mecanicista de diseño**

Los métodos empírico mecanicistas de diseño son una de las bases para este tipo de método constructivo de losas, y tienen como base el análisis estructural donde principalmente se evalúan los esfuerzos a flexo tracción en el límite inferior de la losa, la correlacionando modelos de deterioro definidos de forma experimental y la mecánica teórica de los materiales.

Los valores obtenidos en este método son determinantes para un eficiente dimensionamiento, sin embargo, el gran número de variables de los que dependen estos valores, tiende a hacer compleja la formulación de una solución razonable.

Entre los modelos de predicción de esfuerzos, los más utilizados son los formulados en base a la teoría de Westergaard. Con la adaptación de estas formulas propuestas, se han elaborado diferentes soluciones para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico, expresando también del análisis de las mismas los esfuerzos máximos en el centro, borde y esquina de la losa en análisis.

De la teoría de Westergaard se tiene:

$$\sigma = \sigma_w * f_1 * f_2 \dots f_n + R * \sigma_{Alabeo}$$

Donde:

$\sigma_w$  = Esfuerzos Calculados con Westergaard

$f_i$  = Factores de corrección que consideran condiciones Reales

$R$  = Coeficiente obtenido con regresión estadística

$\sigma_{Alabeo}$  = Esfuerzos inducidos por el Alabeo Térmico

$\sigma$  = Esfuerzos de superposición de efectos

### **1.5.5 Solución numérica aplicada en el estudio (análisis de elementos finitos utilizados por ISLAB 2000)**

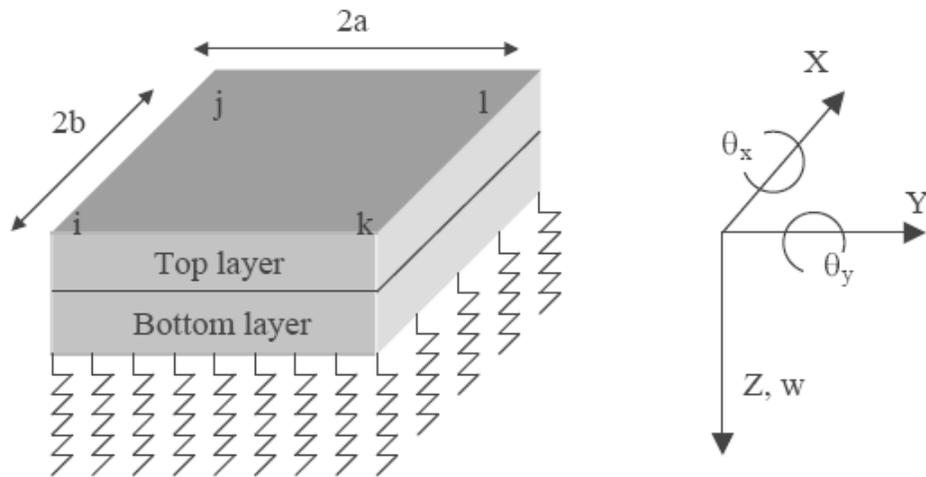
En la práctica se hace muy difícil poder llegar a resultados satisfactorios a través de soluciones analíticas; esto se debe, fundamentalmente, a la alta complejidad de los factores de diseño.

La mayoría de los métodos analíticos, basados en diversos supuestos, entregan resultados aproximados, con ello y gracias a la continua mejora de los sistemas computacionales, se han podido desarrollar diversos métodos numéricos que entregan una solución adecuada para cada caso.

Los métodos de elementos finitos basados en el modelo de placa delgada han sido implementados y se han desarrollado en forma satisfactoria durante los últimos años; es así como, en el caso del presente trabajo se ha recurrido a la descripción de los elementos que se utilizan como base para uso de uno de los mas recientes software que existe para el análisis de losas, ISLAB 2000.

Este software emplea un elemento placa con cuatro nodos y doce grados de libertad, y donde la subrasante se modela como una cama de resortes uniforme., Ver Figura 14.

**Figura 14. Modelo de placa empleada en el análisis del software ISLAB 2000**



Del modelo anterior se desprende el análisis del desplazamiento de los nodos donde:

En la dirección  $Z$  esta ( $w$ ), siendo la rotación entorno al eje  $X$  ( $\Theta_x$ ), y la rotación en torno al eje  $Y$  ( $\Theta_y$ )

La barra de transferencia de carga se simula como un elemento barra con dos componentes en cada nodo; vertical ( $w$ ), en la dirección  $Z$ , y rotación en el eje transversal de la sección. Se utiliza un resorte vertical para modelar la deformación relativa entre la barra de transferencia y el concreto que la envuelve.

En resumen, los elementos supuestos empleados en el modelo del programa son los siguientes:

- Teoría de la elástica con pequeñas deformaciones; placa de espesor medio y homogéneo para losas de concreto hidráulico con base estabilizada. La placa es gruesa para tomar esfuerzos de flexión, pero no tan gruesa para que los esfuerzos de corte sean importantes. Se asume también que la línea normal de la superficie media sin deformar permanece normal a la superficie media de la placa deformada, Cada lámina paralela a la superficie media tiene un estado de esfuerzos planos.
- En el caso de las bases adheridas o de capas superficiales, se tiene una total compatibilidad de esfuerzos. Para el caso de no adherencia, los esfuerzos de corte son despreciados.
- Cuando se analizan losas con refuerzos las barras de transferencia son linealmente elásticas y están ubicadas en el eje neutro de la losa.
- Cuando la trabazón de los agregados o una junta con nodos es especificada a través de la transferencia de carga, la carga es transferida desde uno de los paños al adyacente mediante esfuerzos de corte. Sin embargo con barras de transferencia en juntas, se puede transferir tanto corte como momento.

En cuanto a las capacidades del método de evaluación mecánica se refiere, es de destacar que con el mismo pueden considerarse distintos tipos de transferencias de carga, tales como barras de acero de refuerzo, interacción de agregados, o una combinación de ellos.

El modelo puede también acomodar los efectos de otras capas, adheridas o no adheridas. De esta manera el programa otorga diferentes opciones que pueden ser usadas para el diseño y rehabilitación de pavimentos, tales como:

- Múltiples cargas y ejes, con todo tipo de configuración, ubicadas en cualquier parte de la losa.
- Una combinación de arreglos en las losas tales como, múltiples líneas de tráfico.
- Pavimentos con grietas longitudinales y transversales, y distintos sistemas de transferencia de carga.
- Suelo de apoyo con condiciones variables, incluida la pérdida completa de apoyo en alguna área específica.
- Áreas de singularidad en las que varían ciertas propiedades, que pueden definirse tanto para la losa, capa de pavimento y subrasante.
- Capas especialmente adheridas, además de los modelos ya existentes.
- Efecto de ensanchamiento de base.
- Pavimentos de concreto hidráulico con espesor o módulos variables.
- Posibilidad de definir vacíos presentes bajo la losa. Con un área determinada y una profundidad según nodos.

- Efectos de distribuciones no lineales de temperatura a través de las capas construidas.
- Juntas no coincidentes.
- Análisis simultaneo de paquetes de problemas, en los que se puede ir modificando solo algunas variables.

El software ISLAB 2000 resulta ser una herramienta muy útil para establecer el comportamiento de las losas sometidas a diferentes condiciones, tanto mecánicas como climáticas.

Previamente a la utilización de este software, el análisis para losas por medio de la evaluación de elementos infinitos y finitos se realizaba de la siguiente forma:

#### 1.5.5.1 Análisis de flexión en una placa infinita

La diferencia entre una viga y una placa radica en que la viga solo puede solicitarse en una sola dirección, mientras que la placa se puede solicitar en dos direcciones. La deformación  $-\varepsilon_x$  cuando los esfuerzos actúan en dos direcciones se pueden estimar con base en la ley de Hooke, (Ecuación 1).

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E}$$

**Ecuación 1**

Donde:

$\mu$  = Módulo de Poisson

$\sigma_x$  y  $\sigma_y$  = son las tensiones según las direcciones **x** e **y**, respectivamente.

**E** = módulo elástico del concreto.

Hay que recordar que se está suponiendo una fundación que sigue las hipótesis de Winkler.

El primer término en el lado derecho de la Ecuación 1 indica la deformación en la dirección  $x$  causada por los esfuerzos en la misma dirección, mientras que el segundo término indica los esfuerzos generados en la dirección  $y$ . De manera análoga,

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E}$$

**Ecuación 2**

Cuando la placa se flexiona en la dirección  $x$ ,  $-\varepsilon_y$  podría ser igual a cero porque la placa a lo largo del borde tiene su movimiento muy restringido y cerca del borde no se presentan deformaciones.

Igualando a cero la Ecuación 2 se obtiene

$$\sigma_y = \mu \sigma_x$$

**Ecuación 3**

Sustituyendo la Ecuación 3 en la Ecuación 1 y resolviendo para  $\sigma_x$  se obtiene:

$$\sigma_x = \frac{\varepsilon_x E}{(1 - \mu^2)}$$

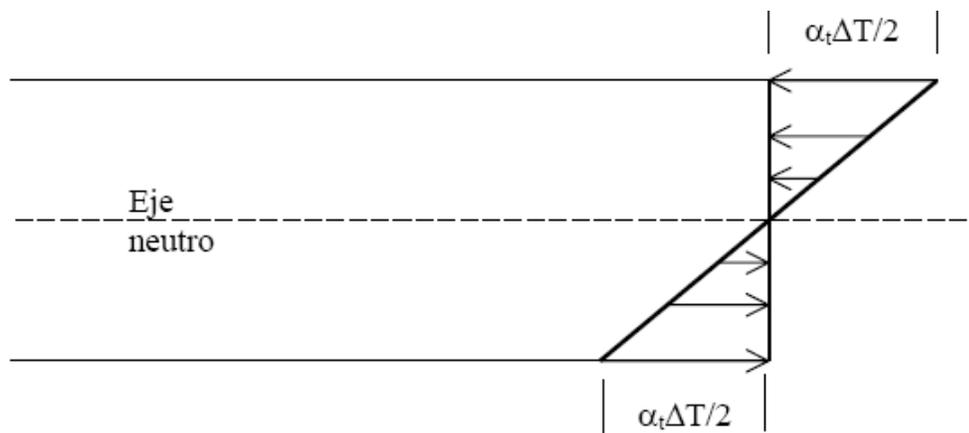
**Ecuación 4**

La Ecuación 4 permite calcular los esfuerzos generados por la flexión en la dirección  $x$ , mientras que la Ecuación 3 lo hace con los esfuerzos perpendiculares a la dirección de la flexión.

Cuando la flexión ocurre en ambas direcciones, como es el caso cuando las losas se alabea por temperatura, los esfuerzos en ambas direcciones se pueden sumar para obtener el esfuerzo total. El máximo esfuerzo en una losa de dimensiones infinitas debido al alabeo se puede calcular suponiendo que la losa esta contenida en el plano xy.

Teniendo un gradiente de temperatura  $\Delta_t$  entre las superficies superior e inferior de la losa y un coeficiente de expansión del concreto  $\alpha_t$ , si la losa se puede mover libremente y la temperatura de la superficie es mayor que la del soporte, entonces la fibra superior se expande en una magnitud igual a  $(\alpha_t \Delta_t / 2)$  y la fibra inferior se encoge en la misma magnitud tal como se muestra en la Figura 15.

**Figura 15. Distribución del Gradiente de temperatura en una losa de Concreto**



Si la losa está restringida, para prevenir cualquier movimiento es necesario aplicar una deformación por compresión en la fibra superior y una de tracción con un valor de

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = \frac{\alpha_t \Delta t}{2} \quad \text{Ecuación 5}$$

De la Ecuación 4, el esfuerzo en la dirección x debido a la flexión en esa misma dirección es:

$$\sigma_x = \frac{E \alpha_t \Delta t}{2(1 - \mu^2)} \quad \text{Ecuación 6}$$

Por simetría y teniendo en cuenta la Ecuación 3 entonces el esfuerzo en la dirección x debido a la flexión en la dirección y es:

$$\sigma_y = \frac{\mu E \alpha_t \Delta t}{2(1 - \mu^2)} \quad \text{Ecuación 7}$$

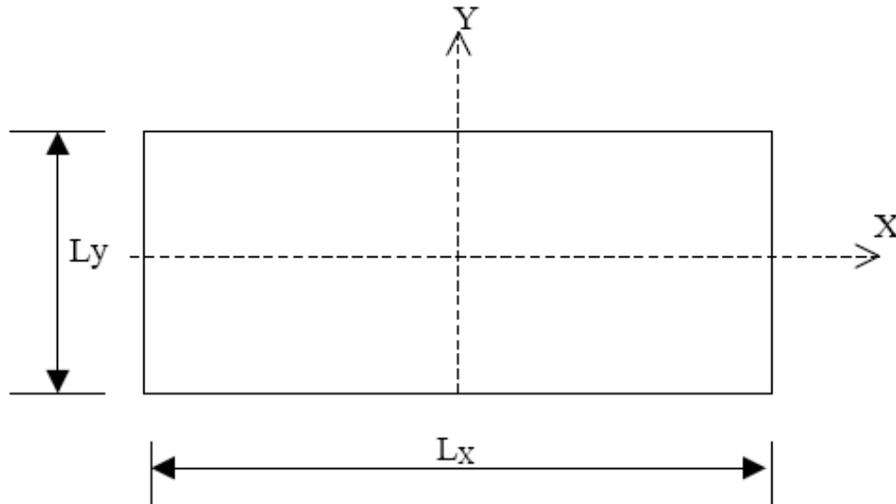
El esfuerzo total es la suma de la Ecuación 6 y de Ecuación 7

$$\sigma_x = \frac{E \alpha_t \Delta t}{2(1 - \mu^2)} (1 + \mu) = \frac{E \alpha_t \Delta t}{2(1 - \mu)} \quad \text{Ecuación 8}$$

El anterior análisis se basa en la suposición de que la distribución de la temperatura es lineal en todo el espesor de la losa. Es una aproximación a la realidad debido a que la distribución de la temperatura no es exactamente lineal.

### 1.5.5.2 Análisis del alabeo en losas finitas

Figura 16. Losa de dimensiones finitas, con longitud  $L_x$  en la dirección y longitud  $L_y$  en la dirección y



El esfuerzo total en la dirección x se puede expresar así.

$$\sigma_x = \frac{C_x E \alpha_t \Delta t}{2(1 - \mu^2)} + \frac{C_y \mu E \alpha_t \Delta t}{2(1 - \mu^2)} = \frac{E \alpha_t \Delta t}{2(1 - \mu^2)} (C_x + \mu C_y)$$

**Ecuación 9**

En la Ecuación 9  $C_x$  y  $C_y$  son dos factores de corrección para losas finitas.

El primer término de esta ecuación es el esfuerzo debido a la flexión en la dirección x y el segundo corresponde al esfuerzo generado en la dirección y.

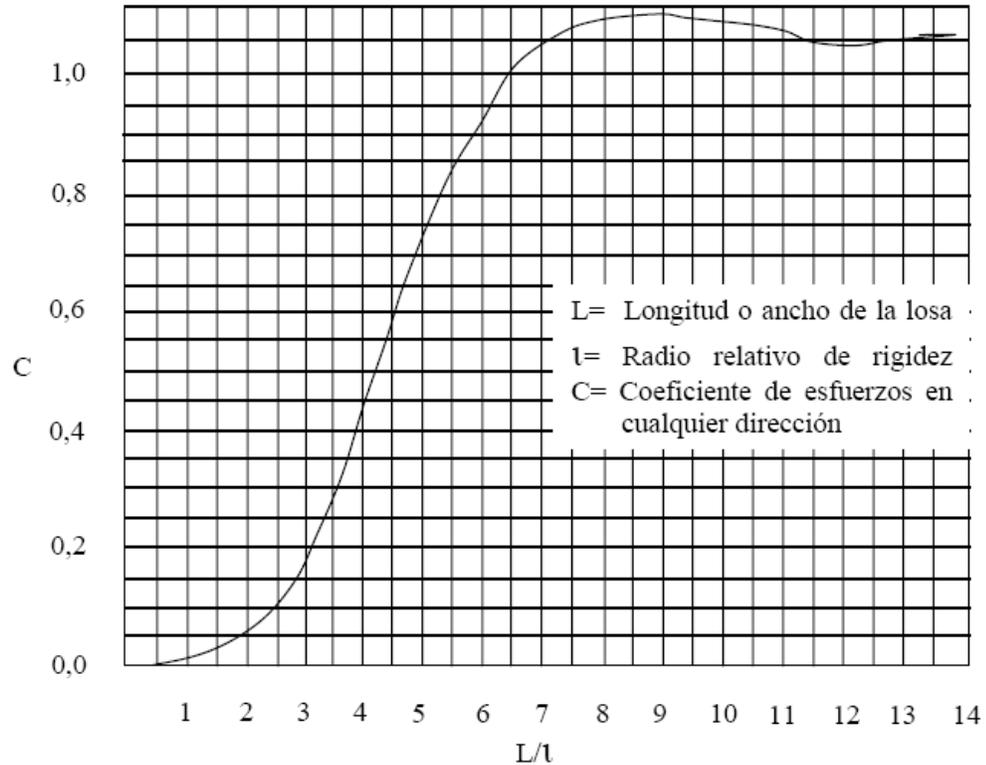
De manera similar el esfuerzo en la dirección y es

$$\sigma_y = \frac{E \alpha_t \Delta T}{2(1 - \mu^2)} (C_y + \mu C_x)$$

**Ecuación 10**

En base al análisis de Westergaard, Bradbury, en el año 1938, se desarrolló un ábaco o monograma para determinar los valores  $C_x$  y  $C_y$ . Ese ábaco se muestra en la Figura 17.

**Figura 17. Factor de corrección de esfuerzos en una losa finita**



El factor de corrección  $C_x$  depende del cociente entre la longitud de la losa en la dirección  $x$   $-L_x$  - y el radio relativo de rigidez de la losa  $\iota$ . El factor  $C_y$  depende de la relación entre la longitud de la losa en la dirección  $y$   $-L_y$  - y el radio relativo de rigidez de la losa  $\iota$ .

$$\iota = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k}}$$

**Ecuación 11**

Donde **E** es el Módulo de elasticidad del concreto, **h** el espesor de la losa y **μ** el Módulo de Poisson y **k** es el Módulo de reacción de la subrasante.

La Ecuación 9 y la Ecuación 10 permiten obtener el máximo valor de los esfuerzos en el centro de la losa.

Los esfuerzos de borde en el centro de la losa se pueden determinar con la siguiente ecuación

$$\sigma = \frac{CE\alpha_t\Delta t}{2} \quad \text{Ecuación 12}$$

En la Ecuación 12  $\sigma$  puede ser  $-\sigma_x$  - o también  $-\sigma_y$  - dependiendo de si C es  $C_x$  o  $C_y$ . Hay que resaltar que la Ecuación 12 es similar a las Ecuaciones 9 y 10 cuando el Módulo Poisson en el borde es cero.

Se puede observar en la Figura 4 que el factor de corrección C se incrementa cuando lo hace la relación L/l, llega al valor de uno (1) cuando L=6,7l y alcanza el máximo valor de 1,084 cuando L=8,5l y decrece hasta uno (1) cuando la relación L/l tiende a infinito.

El hecho de que C pueda tener un valor mayor que la unidad se puede explicar por el hecho de que en losas cuya longitud supere 6,7l la reacción de la subrasante reversa ligeramente la curvatura que el alabeo por temperatura produce.

La relación entre C y L/i sigue la Ecuación 13 hasta cuando la relación L/i es de 8,5. Para efectos prácticos este es el rango de aplicación de C. La Ecuación 13 tiene un coeficiente de correlación R de 0,989

$$y = -81,547x^6 + 385,01x^5 - 654,61x^4 + 523,7x^3 - 207,1x^2 + 41,375x \quad \text{Ecuación 13}$$

### 1.5.5.3 Determinación de la longitud de la losa

Teniendo en cuenta la Ecuación 12 se puede calcular el valor de C para unas condiciones de gradiente térmico  $-\Delta_t$ -, coeficiente expansión del concreto  $-\alpha_t$ -, Módulo de elasticidad del concreto  $-E$ - y de esfuerzo admisible en la losa  $\sigma$

El esfuerzo admisible se puede fijar para una condición alta de repeticiones de carga, por ejemplo de mas de 500.000 repeticiones, valor en el cual el esfuerzo no debe ser mayor que la mitad del Módulo de rotura del concreto.

$$R = 6,52 * 10^{11} e^{-28,05(\sigma/Mr)} \quad \text{Ecuación 14}$$

En la Ecuación 14, R es el número de repeticiones admisibles,  $\sigma$  el esfuerzo generado en la losa y Mr el Módulo de rotura del concreto.

#### 1.5.5.4 Ejemplo de aplicación:

Asumiendo que se desea construir un pavimento de concreto con las siguientes condiciones:

Módulo de elasticidad del concreto  $E = 230.000 \text{ kg/cm}^2$

Esfuerzo generado en la losa  $\sigma = 20 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de rotura  $M_r = 40 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de reacción de la subrasante  $k = 5 \text{ kg/cm}^3$

Gradiente térmico  $\Delta_t = 30^\circ\text{C}$

Coefficiente de expansión térmica  $\alpha_t = 6,8 \cdot 10^{-6}$

Espesor de la losa 20 cm

El valor de C para esas condiciones tiene un valor de 0,85 y en el ábaco se puede leer que para ese valor la relación L/i es de 5,6 de manera que la longitud de la losa no debe superar 5,6 veces el Radio relativo de rigidez, el cual se definió en la Ecuación 11

$$L = 5,6 * 4 \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)*k}} = 419\text{cm}$$

**Ecuación 15**

Hay que tener en cuenta que los esfuerzos que se generan en las losas tienen múltiples orígenes y a los de alabeo se les debe sumar los generados por las cargas.

El valor que toma el coeficiente de expansión térmica  $\alpha_t$  depende de las características del concreto, especialmente en lo que se refiere al origen geológico de los agregados.

Al aplicar la Ecuación 11 en repetidas ocasiones para diferentes condiciones normales y frecuentes de soporte, de espesores de losa y gradientes térmicos se observa que la relación entre la longitud de la losa y su radio relativo de rigidez, oscila entre valores comprendidos entre 4,0 y 5,5.

Correspondiendo el menor valor a gradientes térmicos grandes, mientras que el valor grande del rango corresponde a menores gradientes. La *Portland Cement Association* en su programa de diseño incorpora un valor de  $L/r$  igual a 5,5 dicho valor está por el lado de la seguridad para gradientes térmicos, menores que 20°C pero es riesgoso para valores superiores a ese valor.

Cuando se tienen dudas acerca de cual valor asumir, la prudencia aconseja tomar un valor bajo, o hacer mediciones de gradientes térmicos en pavimentos existentes en la zona en la que se construye el pavimento.

En las mediciones de gradientes térmicos se ha encontrado que en condiciones normales estos oscilan entre 0,05 y 0,08°C por milímetro de espesor de losa. En pavimentos de concreto de 25 cm de espesor el gradiente entre la cara superior de la losa y su soporte oscila normalmente entre 12,5 y 20°C, con lo cual se verifica que la suposición de la *Portland Cement Association* está por el lado de la prudencia para la mayoría de los casos normales.

Un punto que es importante resaltar es el del significado del módulo de reacción de la subrasante -k- pues como se ve en la Ecuación 11 ese valor va en el denominador, lo que implica 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.

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.

### Ecuación de Weestergard

La ecuación desarrollada por Weestergard y en la que se basó Bradbury para desarrollar el ábaco con el que se determina C es la siguiente

$$\sigma_x = \sigma_0 \left[ 1 - \frac{2 \cos \lambda \cosh \lambda}{\operatorname{sen} 2\lambda \operatorname{senh} \lambda} \left( (\tan \lambda + \tanh \lambda) \cos \frac{y}{l\sqrt{2}} \cosh \frac{y}{l\sqrt{2}} + (\tan \lambda - \tanh \lambda) \right) \operatorname{sen} \frac{y}{l\sqrt{2}s} \operatorname{senh} \frac{y}{l\sqrt{2}} \right]$$

### Ecuación 16

Donde:

$l$  de la Ecuación 11

$$\lambda = b / l\sqrt{8} \quad \text{Ecuación 17}$$

Siendo **b** el ancho de la losas.

### 1.5.6 DEFINICIÓN DEL TAMAÑO DE LAS LOSAS

En general para el análisis de la dimensión de las losas, anteriormente se proponía la construcción de losas de forma geométrica rectangular y cuadradas, donde la dimensión usualmente utilizada oscilaba entre 650cm y 450cm, pero con las nuevas propuestas y software de evaluación, se han reducido considerablemente las dimensiones de las mismas.

El Módulo de Rotura (MR) y la resistencia a la compresión del Concreto Hidráulico a los 28 días ( $f'c$ ), es uno de los principales factores utilizados en el diseño y evaluación con elementos finitos. El cálculo usual es el siguiente:

:

$$\mathbf{MR = PL/bd^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \text{Ecuación 18}}$$

Donde:

*P = Carga de Rotura*  
*L = Distancia entre Apoyos*  
*b = Ancho de la Viga*  
*d = Altura o canto de la Viga*

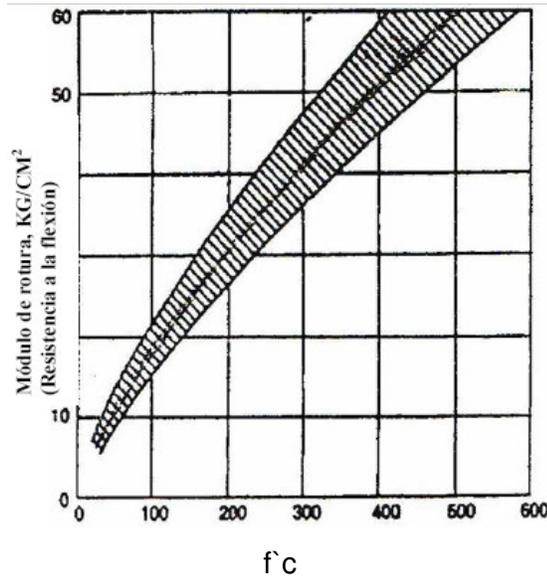
Sugiriendo el siguiente intervalo:

$$\mathbf{0.10f'c \leq MR \leq 0.17f'c}$$

En Pavimentos de Concreto Hidráulico se exige:

$MR \geq 45.7 \text{ kg/cm}^2$  pudiendo aseptarse Aceptándose  $f'c \geq 210 \text{ kg/cm}^2$  para tráfico ligero, pudiendo auxiliarse también con el monograma de la figura 18.

**Figura 18. Monograma para determinación del Modulo de Rotura**



Se han unificado criterios de dos métodos existentes para la el dimensión de las losas, así como el espesor de las mismas, estos son el método PCA y el método ASSHTO, los cuales definen las características siguientes:

#### **1.5.6.1 Método de Diseño PCA**

Este método se basa en dos 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 cuatro parámetros fundamentales:

El módulo de ruptura del hormigón o concreto,

El módulo de reacción suelo de fundación

El periodo de diseño,

Las características del tráfico.

### **1.5.6.2 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.

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 estandar o nivel de servicio final

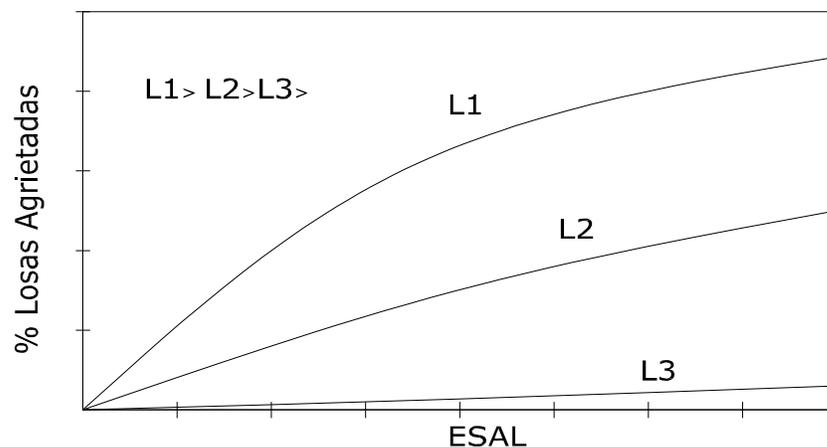
Por medio de la evaluación de ambos métodos se ha determinado que en losas con longitudes inferiores a 450 cm reflejan mejores resultados respecto a su comportamiento mecánico, así como la disminución de espesores, ya que las losas se ven sometidas a menores cargas y sollicitaciones, en función de la estandarización de las dimensiones de los diferentes tipos de vehículos, que se ve reflejado en el número de ejes equivalentes a los que son sometidas cada una de las losas.

Con la dimensión menor de losas y la característica de una menor carga puntual concentrada en cada losa, se dirige ahora la atención hacia de las características generales del diseño del pavimento, ya que ahora se deberá velar por la correcta adherencia de las losas a la siguiente capa del pavimento, así como la acción compuesta en rehabilitación de pavimentos existentes, y reacción a cambios climáticos, etc.

### 1.5.7 Determinación de la importancia de la longitud y forma geométrica de las losas

De lo anterior se deriva la influencia de la forma geométrica de la losa, pasando de ser la tradicionalmente de geometría rectangular, a una geometría cuadrada; teniendo como finalidad que su longitud concentre la menor cantidad de puntos de esfuerzos, evitando en lo posible las fallas tanto transversales como longitudinales. Según experiencias en Latinoamérica donde se ha evaluado el agrietamiento de losas de forma geométrica cuadrada con diferentes longitudes, se ha establecido la influencia de los esfuerzos respecto a ejes equivalentes de 18,000 lb (ESAL) como se muestra en la figura 19.

**Figura 19. Comportamiento de agrietamiento en losas en función de la longitud.**



De lo anterior se sugiere la utilización de losas cuadradas cortas.

### **1.5.8 Del espesor de losas**

A través de los años los pavimentos de hormigón han demostrado un muy buen comportamiento, superando en muchos años su vida útil proyectada.

Esta realidad ha hecho reevaluar la metodología actual de diseño de pavimentos de hormigón, basada normalmente en los métodos AASHTO y PCA, ya que estaría obligando a utilizar pavimentos con una capacidad mucho mayor a la que es realmente requerida.

Por otro lado, se recomienda espesores de 20cm como mínimos para carreteras, y según experiencias en países de Latinoamérica sugieren que el espesor mínimo de pavimentos de hormigón para vías urbanas no debería ser inferior a 12cm. Para este último puede utilizarse una carga de tráfico de aproximadamente 1 millón de ejes equivalentes (ESAL) de diseño en 20 años.

Pavimentos delgados han sido construidos recientemente en países como Colombia y Chile, y ser probados en forma experimental, los cuales inicialmente están teniendo un buen comportamiento. En el caso específico de Guatemala actualmente para carreteras de altas solicitudes de tráfico se están construyendo losas cortas, construyendo pistas de 3.6m de ancho, realizando losas cuadradas de 1.80 x 1.80m

### **1.5.9 Corte de losas**

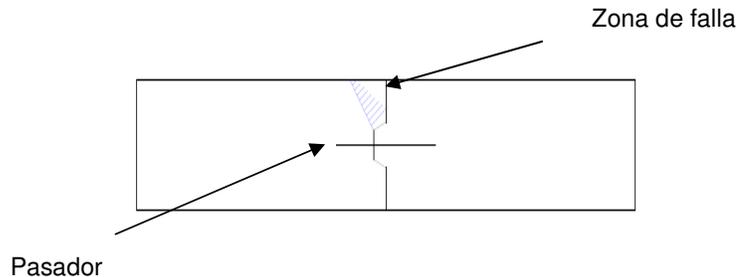
Se deberán cortar las juntas de contracción longitudinales y transversales en el pavimento a partir del momento en que se pueda colocar la máquina de corte sobre la superficie de rodadura sin dejar las ruedas marcadas, debiendo considerar la temperatura del ambiente para definir el endurecimiento del concreto u hormigón y el momento cuando se debe iniciar el corte de juntas, el cual deberá realizarse lo antes posible para evitar fisuras por retraso de estos trabajos.

Se deberá contar con la cantidad de recursos, equipos y sierras de corte necesarios. En el caso, de que no se pueda disponer de una cantidad razonable de equipos se deberán comenzar los cortes del concreto u hormigón por lo menos cada 7.2m de distancia longitudinal, o a menor distancia según la modulación que resulte de los sectores a realizar, pero nunca superando la medida de los 7.2m; Luego se realizarán los cortes intermedios, tan pronto como sea posible.

Un corte muy importante es el longitudinal, para evitar el alabeo del borde del pavimento. Por esta razón, el orden de corte recomendado es: primero los transversales cada 7.2 m; después, el corte longitudinal al centro de la pista; luego, los transversales cada 3,6 m, intermedios a los anteriores; y finalmente el resto de los cortes transversales.

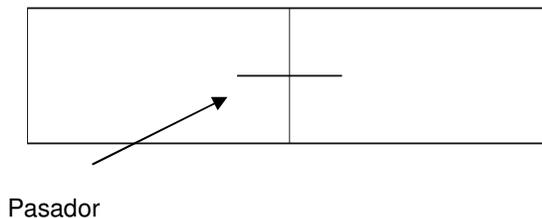
Con la innovación en la dimensión de losas, también se ha visto la conveniencia de construir juntas simples para la continuidad en la construcción del pavimento, aprovechando la forma geométrica de las losas y promoviendo una menor cantidad de zonas de falla, evitando el desportillamiento prematuro ocasionado por la concentración de esfuerzos en áreas de corte como se muestra en las figuras 20 y 21.

**Figura 20. Forma constructiva tradicional de juntas para continuidad constructiva del pavimento**



Ahora se propone la construcción de un nuevo tipo de junta sencilla.

**Figura 21. Forma constructiva nueva de junta sencilla para la continuidad del pavimento**



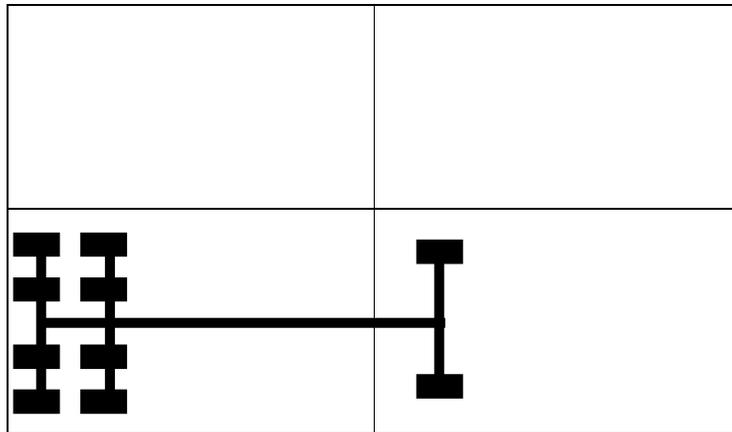
Se deberá disponer de por lo menos 2 equipos de corte para efectuar el corte del concreto u hormigón, en el caso de que el hormigonado se haya hecho en una larga extensión. El corte se deberá realizar con sierra delgada de modo que el corte quede con espesor no mayor que 2,0mm de manera de evitar el ingreso de partículas dañinas al interior de la junta, lo que pudiera deteriorarla.

Las juntas no se sellarán si se ha realizado el corte con sierra delgada, ya que su poco espesor impide el ingreso de partículas incompresibles. Sin embargo, se deberá repasar la membrana de curado en los cortes para asegurar una buena hidratación de las aristas de éste, asegurando su resistencia al desgaste y rotura.

Para evitar colocar sellos, se recomienda el uso de sierras de corte delgado (1,8mm): su espesor impide el ingreso de partículas en las juntas y, por lo tanto, éstas pueden dejarse sin sellar y prescindir de su futuro mantenimiento.

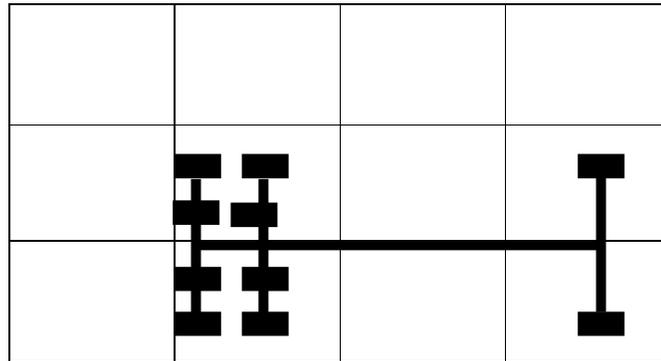
Entonces si la finalidad del análisis de elementos finitos en losas cortas es la distribución de cargas y el comportamiento que tiene en las mismas los efectos de alabeo provocado por los gradientes térmicos, hace necesario reflejar la importancia que tiene la distancia entre las juntas longitudinales y transversales en el pavimento terminado, como se muestra en la figura 22.

**Figura 22. Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas largas rectangulares de 450 X 350cm**



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

**Figura 23. Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas cortas cuadradas de 180cm**



#### **1.5.10 Construcción de juntas y su transferencia de carga**

Con este sistema de distribución, solo una rueda cruza la junta al mismo tiempo, lo cual minimiza el efecto de una carga mayor del vehículo y baja el esfuerzo sobre la losa. Este tipo de juntas deben ser usadas cuando no se pretende utilizar barras de transferencia de cargas.

Las juntas deben estar diseñadas para transferir una porción de la carga entre losas adyacentes minimizando así deflexiones verticales en la junta producidas por las cargas de vehículos. El reducir deflexiones disminuye el potencial bombeo de materiales de subbase además del escalonamiento.

Debe recordarse nuevamente que el clima y la dureza de los agregados tienen un gran impacto en la eficiencia de la transferencia.

### 1.5.10.1 Juntas transversales de contracción

Son juntas construidas transversalmente al eje central de la vía y espaciadas para controlar la fisuración transversal de la losa. Se han realizado estudios que han demostrado que el espesor del pavimento, rigidez de la base y el clima afectan la máxima separación esperada entre juntas transversales.

Otras investigaciones indican también que hay una relación general entre la longitud de la losa ( $L$ ) con el radio de rigidez relativa  $I$  y la fisuración transversal.

El radio de rigidez relativa es un término definido por Westergaard que cuantifica la relación entre la rigidez de la fundación y la rigidez de la losa. Teniendo el radio de rigidez relativa una dimensión lineal, y es determinado como se ha visto anteriormente por la ecuación 11.

Adicionalmente otras investigaciones establecieron que hay un incremento en la fisuración transversal cuando el radio  $L/I$  excede 5.0. Usando el criterio de que el máximo radio  $L/I$  es de 5.0, el espacio de juntas disponible se incrementaría con el espesor de la losa, pero disminuiría con el incremento de las condiciones de soporte de la fundación.

El intervalo de juntas se diseña para evitar fisuras transversales intermedias. Usualmente, el espacio entre juntas no debe ser mayor a 24 veces el espesor de la losa. Es importante también mantener las losas lo más cuadradas posibles. El espaciamiento entre juntas transversales tampoco debe exceder en 1.25 al ancho de la losa.

Cuando se diseñan pasadores, AASHTO recomienda usar barras de diámetro igual o mayor a  $1/8$  del espesor de la losa. La longitud de estas barras varía entre 40 a 45cm. Los pasadores se colocan a la mitad del espesor de la losa, con espaciamiento de 30cm entre ejes de barra, colocándose la primera a 15cm de la orilla de la losa. Estos pasadores deben recubrirse con materiales que eviten su adherencia con el hormigón y que las protejan contra la corrosión.

Se debe tener un especial cuidado con el alineamiento, ya que las pequeñas desviaciones entre los extremos de la barra ya sea en sentido vertical u horizontal respecto a su dirección teórica que debe ser paralela al eje del pavimento, pueden ocasionar agrietamientos.

#### **1.5.10.2 Juntas transversales de construcción:**

Son juntas construidas al final del día de trabajo u otra interrupción de colocado si se produce un lapso mayor a 60 minutos en clima cálido y 90 minutos en clima frío, este tiempo es medido desde la elaboración del hormigón hasta su puesta en obra y posterior acabado.

Para la construcción de estas juntas, se debe usar un encofrado de cara plana, Ver Figura 24:

**Figura 24. Fotografía de junta transversal de construcción**



### **1.5.10.3 Juntas longitudinales**

Son aquellas que van paralelas al eje central de la vía, controlan la fisuración y en algunos casos delimitan las líneas de tráfico; Cuando se realiza el vaciado en una sola pasada de dos o más carriles, la transferencia de carga generalmente se produce por la trabazón mecánica de los agregados que se origina en la junta después del corte.

Aunque el tiempo de corte no es tan crítico como en las juntas transversales, es conveniente efectuarlo tan pronto como sea posible especialmente cuando existen subbases estabilizadas u ocurren cambios de temperatura muy bruscos.

En el caso que se realice el vaciado por carriles y se tenga pensado el uso de barras de amarre, éstas deberán colocarse de forma manual en el caso de que no se tenga un insertador automático.

Se deberá tener cuidado de no hacer coincidir estas barras con los pasadores transversales para evitar golpes y desalineados, Ver figuras 25, 26.

**Figura 25. Fotografía construcción junta longitudinal con formaleta**



**Figura 26. Fotografía construcción de junta longitudinal sin formaleta**



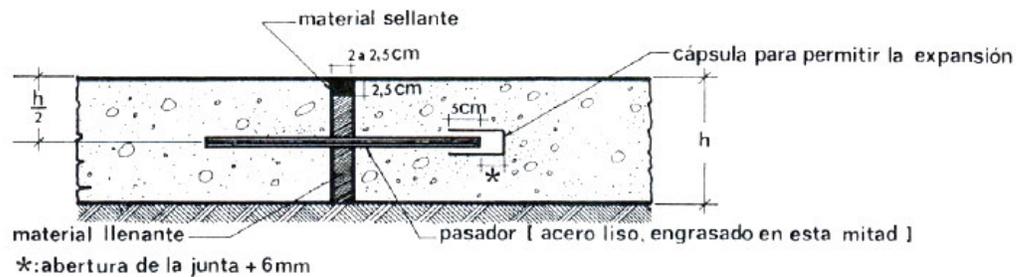
#### **1.5.10.4 Juntas de separación y expansión**

Son construidas para permitir el movimiento de las losas sin dañar pavimentos adyacentes, intersección de calles, estructuras de drenaje, puentes y otras estructuras fijas. Existen dos tipos de juntas de expansión, dependiendo su necesidad de empleo.

El primer tipo es la junta con barras lisas para transferencia de cargas, cada una de las cuales está provista en uno de sus extremos de un capuchón, que permite que las barras se muevan libremente por expansión y contracción, tal como se muestra en la figura 27.

Debido a que estas juntas tienen una separación de 2cm o más, requieren la presencia de un material de relleno preformado, constituido por un material flexible, no extruible y no absorbente, cubriendo todo el ancho y espesor de la losa, por debajo de 2.5cm debajo de la superficie, finalmente se colocará el sello que deberá ser compatible con el relleno preformado.

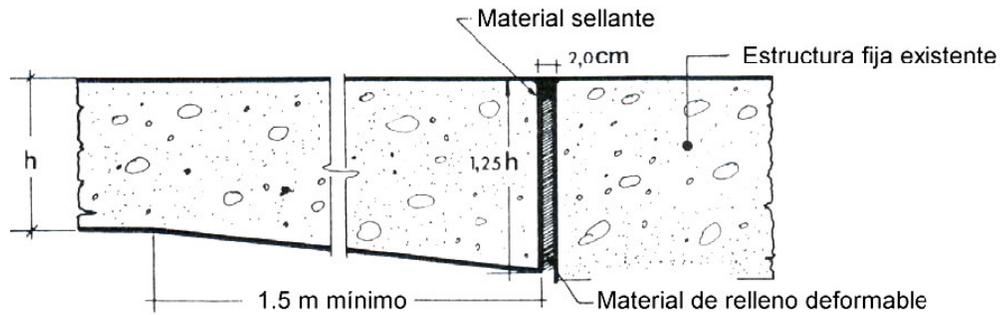
**Figura 27. Detalle de junta de expansión Tipo 1**



El otro tipo de junta de expansión es aquella que no tiene dispositivos de transferencia de cargas, el espesor de la losa se incrementa gradualmente en un 25 % en el último metro y medio, para reducir los esfuerzos en la junta como se muestra en la figura 28.

En lo que respecta al sello, se siguen las mismas recomendaciones descritas para el primer tipo de junta de expansión; Generalmente este tipo de juntas se construye cuando se tiene una estructura fija rígida tal como un puente en el que no se ha previsto el colocado de pasadores con anterioridad.

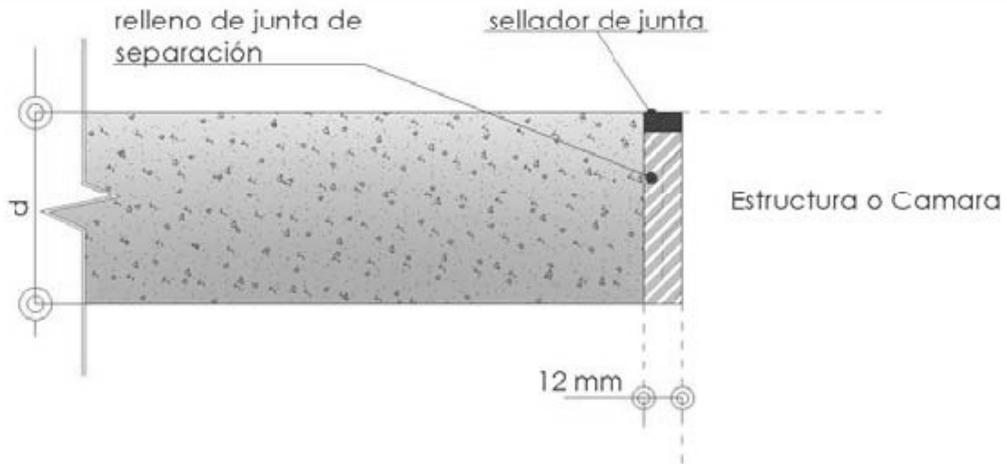
**Figura 28. Detalle construcción de juntas de expansión o continuidad Tipo 2.**



**Figura 29. Fotografía de construcción de junta longitudinal construida al final del pavimento nuevo y un pavimento existente**



**Figura 30. Detalle de construcción de junta en estructuras existentes caso de estructura de puente, y paso peatonal.**



### **1.6 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.

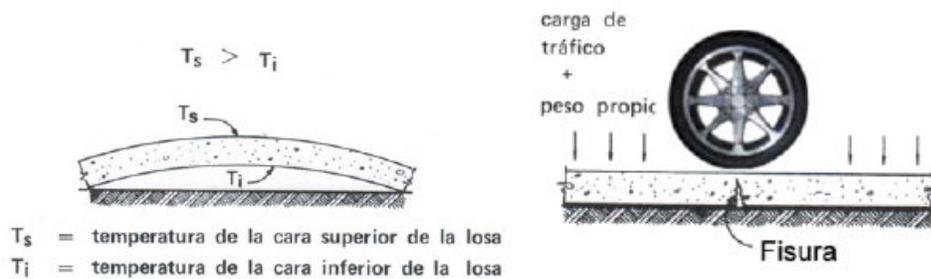
La contracción y expansión no ocurren libremente, puesto que se encuentra restringida por las fuerzas de fricción desarrolladas entre las superficies en contacto de la losa con la subbase, lo que genera esfuerzos de tensión en el hormigón, que a su vez generan fisuración transversal en el pavimento.

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 hormigón 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 Figura 31.

**Figura 31. Puntos de falla generados por la aplicación de cargas vehiculares con alabeo existente en losas**



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



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

Debe tenerse cuidado en 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.

## **1.7 Especificaciones generales regionales para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico**

Para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico u hormigón se deben considerar las condiciones estructurales del pavimento como estructura conjunta y poder de esta forma establecer sus características mecánicas y especificaciones para su construcción a nivel regional

En los pavimentos rígidos, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una mejor distribución de las cargas respecto al pavimento flexible, produciendo bajas tensiones a nivel de la subrasante o explanada.

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 para su construcción.

Las características y requerimientos que a continuación se presentan, son especificaciones regionales para Guatemala y el resto de 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, respectivamente. En este contexto, se pasa revista a los siguientes elementos estructurales:

- Subrasante o explanada
- Subbase
- Base
- Base estabilizada

### **1.7.1 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.

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 inmunidad 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.

#### **1.7.1.1 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.

En general los materiales apropiados para 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.

#### **1.7.1.2 Características de compactación para subrasante o explanada**

Para compactar la capa de subrasante, el espesor de ésta debe escarificarse, homogenizarse, mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad, hasta lograr como mínimo el 95% de compactación.

#### **1.7.2 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 de 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.

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.

Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada. Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

### **1.7.2.1 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 subbase deben ser suelos del tipo granular que llenen los siguientes requisitos:

- El valor soporte (CBR) debe determinarse según AASHTO T-193 sobre muestra saturada según 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 AASHTO T-11 y T-27.
- El índice de plasticidad debe determinarse según AASHTO T-90, y el límite Líquido según AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, según AASHTO T-146.
- El equivalente de arena es determinado por el método 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.

### **1.7.2.2 Compactación**

El material de subbase debe ser tendido en capas no mayores de 20 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 AASHTO T-180.

### **1.7.3 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:

#### **1.7.3.1 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.

#### **1.7.3.2 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.

### 1.7.3.3 Materiales

Debe corresponder a los tipos de graduación determinados según 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 AASHTO T-193, la compactación según AASHTO T-180 e hinchamiento máximo según 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 AASHTO T-96.
- La porción que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad según se indica en AASHTO T-90 y un límite líquido mayor al indicado en AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo según 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 a como se indica en AASHTO T-176.
- Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, 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.

#### **1.7.3.4 Compactación**

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

Cuando el espesor de base sea mayor de 20 centímetros, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que éstas no sean mayores de 20 ni menores de 10 centímetros. Además, se tiene que humedecer la superficie entre capas, para conseguir una mejor adhesión entre 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.

#### **1.7.4 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, arenas, etc.), pero al utilizarse con suelos como limos, arcillas, etc. 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 físico-químicas y comprobar su efectividad y verificando que se obtenga la resistencia a la compresión según AASHTO T-135 y la densidad máxima Proctor, según AASHTO T-99.

#### **1.7.4.1 Compactación**

La capa estabilizada debe compactarse en su totalidad hasta lograr su densidad máxima, según AASHTO T-134 y T-191 y debe ejecutarse en capas no mayores de 30 ni menores de 15 centímetros. Cuando la capa estabilizada tiene un espesor que excede los 30cm., 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 dispone, para lograr la densidad especificada. Se establece una tolerancia en menos, del 3% 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 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.

## **1.7.5 Especificaciones para concreto**

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

### **1.7.5.1 Cementos hidráulicos.**

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

### **1.7.5.2 Agregado fino.**

Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, que llene los requisitos de 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.

### **1.7.5.3 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 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.

#### **1.7.5.4 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, toda hierba y otras materias perjudiciales.

Cuando se dude de la calidad del agua deberá cumplir con AASHTO T 106, ASTM C 109, AASHTO T 131 y ASTM C 191

#### **1.7.5.5 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 preesforzado 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:**

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

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

### **Aditivos retardantes.**

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

### **Aditivos acelerantes.**

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

### **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 AASHTO M 194, ASTM C 494 ó COGUANOR NG 41070.

### **Aditivos plastificantes y plastificantes y retardantes.**

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

**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 AASHTO M 144 ó ASTM D 98. No se debe usar en el concreto a utilizarse en pavimentación.

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

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

**Escoria granulada de alto horno.**

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

**Humo de sílice (o microsílíce).**

Al emplearse como aditivo mineral en el concreto debe cumplir con lo indicado en 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.

### **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 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 de que se trate.

#### **1.7.5.6 Requisitos para la clase y resistencia del concreto.**

El concreto de cemento hidráulico para pavimentos, debe ser como mínimo clase 24.5 (3,500) con una resistencia a compresión AASHTO T 22 (ASTM C 39), promedio mínima de 24.5 MPa (3,500 psi) y una resistencia a la flexión AASHTO T 97 (ASTM C 78), promedio mínima de 3.8 MPa (550 psi), determinadas sobre especímenes preparados según 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%, debe usarse un concreto de clase 28 (4,000) o mayor, con una resistencia a la flexión AASHTO T97 (ASTM C78) promedio mínima de 4.5 MPa (650 psi) o mayor.

## **1.8 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO OBJETO DE ANALISIS, EN FUNCIÓN DE SU GEOMETRÍA Y CAPACIDAD VEHICULAR**

La clasificación de las carreteras usualmente se a realizado según el país donde se construyen, aunque se establece la conveniencia de unificar criterios a nivel regional, la Secretaria de Integración Económica de Centro América SIECA, establece la clasificación de las carreteras dentro del territorio centroamericano evaluándolas desde el punto de vista de su funcionalidad, agrupando a las carreteras según la naturaleza del servicio que están supuestas a brindar, lo cual se relaciona directamente con la estructura y categorización de los viajes; considerando dos elementos esenciales para la clasificación de las carreteras, según que su función primordial, la movilidad que facilita, y sus accesos , así como un balance de ambas características de los viajes.

Una clasificación funcional permite establecer sistemas integrados dentro de una concepción lógica, agrupa carreteras en categorías de características similares según sus objetivos, las cuales requieran el mismo grado de ingeniería y competencia administrativa.

Las carreteras con características análogas son sometidas a normas de diseño, la cuales son ajustadas en rangos apropiados de volúmenes de tránsito.

A nivel regional se ha sugerido clasificar las carreteras internacionales mesoamericanas de la siguiente manera:

### **1.8.1 Autopistas**

Una autopista es una carretera especialmente diseñada y construida para el tráfico automotor, que no le presta servicio a las propiedades vecinas y que tiene accesos controlados, y la cual:

- (i) dispone, excepto en puntos especiales o temporalmente, de carriles separados para las dos direcciones del tráfico, separadas unas de las otras por una mediana divisoria que no se destina al tráfico o excepcionalmente por otros medios;
- (ii) no tiene cruces a nivel con cualquier carretera, ferrocarril o línea de tranvías, o paso de peatones; y
- (iii) está especialmente señalizada como una autopista.

### **1.8.2 Carreteras troncales**

Las carreteras troncales están concebidas fundamentalmente para dar acceso directo a los generadores principales de tránsito y se interconectan con el sistema de autopistas y vías de circulación rápida.

Los accesos se permiten directamente, excepto cuando se desea introducir algún grado de control de los mismos para favorecer la fluidez del tránsito de paso, reservándose espacios y diseños adecuados para estacionamiento y movimientos peatonales longitudinales. La construcción de calles marginales a estas carreteras es altamente recomendable, cuando se desea destacar su función de movilidad.

### **1.8.3 Carreteras colectoras**

Las carreteras colectoras mantienen un balance entre su función de acceso a las propiedades colindantes y su importante función complementaria de movilidad y sirve como alimentador de las arterias troncales. Este tipo de vías estará dotada de una sección transversal provista de dos a cuatro carriles de circulación, para la atención del tránsito en ambos sentidos.

## **1.9 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO OBJETO DE ANÁLISIS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ESTRUCTURA Y MÉTODO CONSTRUCTIVO**

Como se estableció en el capítulo 1 de este informe, en nuestro medio podemos encontrar seis tipos de pavimentos, siendo estos los siguientes:

- A. Pavimentos Asfálticos (PA)
- B. Pavimentos de Concreto Hidráulico (PCH)
- C. Pavimentos Compuestos (Mixtos)
- D. Pavimentos de avanzada tecnológica: a carga plena (firme o base emulsionada total); a resistencia profunda (base + base emulsionada)
- E. Pavimentos Adoquinados
- F. Otros que van a depender del material, de sus características estructurales y el proceso de construcción (rodillados, líticos, de ladrillo, de planchas metálicas y mixtos)

de la clasificación anterior, se evaluarán solamente los pavimentos de concreto hidráulico (PCH); pavimentos en los cuales se ha puesto en práctica el método constructivo de losas cortas.

## **2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO EXISTENTE DE CARÁCTER RELEVANTE EN GUATEMALA**

### **2.1 Antecedentes**

En Guatemala la construcción de pavimentos hidráulicos utilizando losas cortas inicia a partir del año de 1,983 utilizando este método en carreteras principales con alto nivel de tráfico, y que actualmente se utiliza como método constructivo de pavimentos de concreto hidráulico en rehabilitación de pavimentos existentes, por lo que es necesario tener referencias de pavimentos ya construidos con dicho método constructivo.

### **2.2 Ubicación y localización de carreteras pavimentadas de concreto hidráulico utilizando losas cortas**

#### **2.2.1 Construcción autopista Escuintla-Puerto Quetzal**

Tramo carretero de 43.88 Kilómetros de longitud, localizado el sur occidente de Guatemala en el kilómetro 54 de la carretera CA-9 Sur , carretera que comunica la cabecera departamental de Escuintla y la estación portuaria Quetzal, (Ver Figuras 32 y 33.)

#### **2.2.2 Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente**

Rehabilitación del Tramo carretero de 20.75 Kilómetros de longitud, localizado al Nor Oriente de Guatemala en el kilómetro 11 de la carretera CA-9 Norte, carretera que comunica la capital de Guatemala y la cabecera departamental de del departamento de El progreso Guastatoya, (Ver Figuras 32 y 34.)

### **2.2.3 Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucia Milpas Altas**

Rehabilitación del Tramo carretero de 18.2 Kilómetros de longitud, localizado al Nor Occidente de Guatemala en el kilómetro 18.70 de la carretera CA-1 Occidente, carretera que comunica la capital de Guatemala, San Lucas Sacatepequez, y Santa Lucia Milpas Altas, los dos últimos en mención del departamento de Sacatepequez, (Ver Figuras 32,35 y 36.)

### **2.2.4 Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palin Escuintla**

Rehabilitación del Tramo carretero de 7 Kilómetros de longitud, localizado al Sur Occidente de Guatemala en el kilómetro 32 de la carretera CA-9 Sur, carretera que comunica el municipio de Amatitlan del departamento de Guatemala, y El municipio de Palin del Departamento de Escuintla, (Ver Figuras 32 y 37)

### **2.2.5 Rehabilitación CA-9 Oriente Pueblo Nuevo Viñas-El Cernal**

Rehabilitación del Tramo carretero de 4.9 Kilómetros de longitud, localizado al Sur Oriente de Guatemala en el kilómetro 41+500 de la carretera CA-1 Oriente, carretera que comunica Pueblo Nuevo viñas, y El Cernal ambos del Departamento de Santa Rosa, (Ver Figuras 32, 38)



Figura 33. Rehabilitación CA-9 Sur Escuintla – Puerto Quetzal

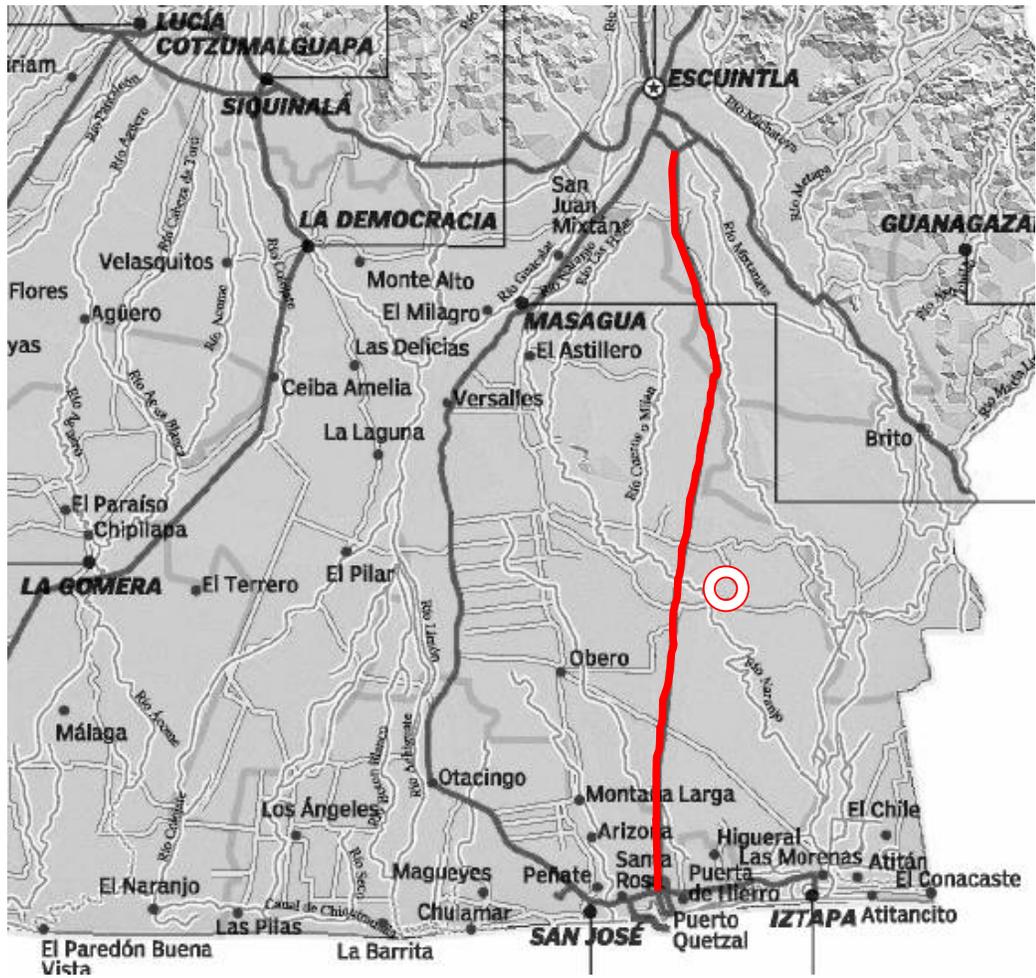
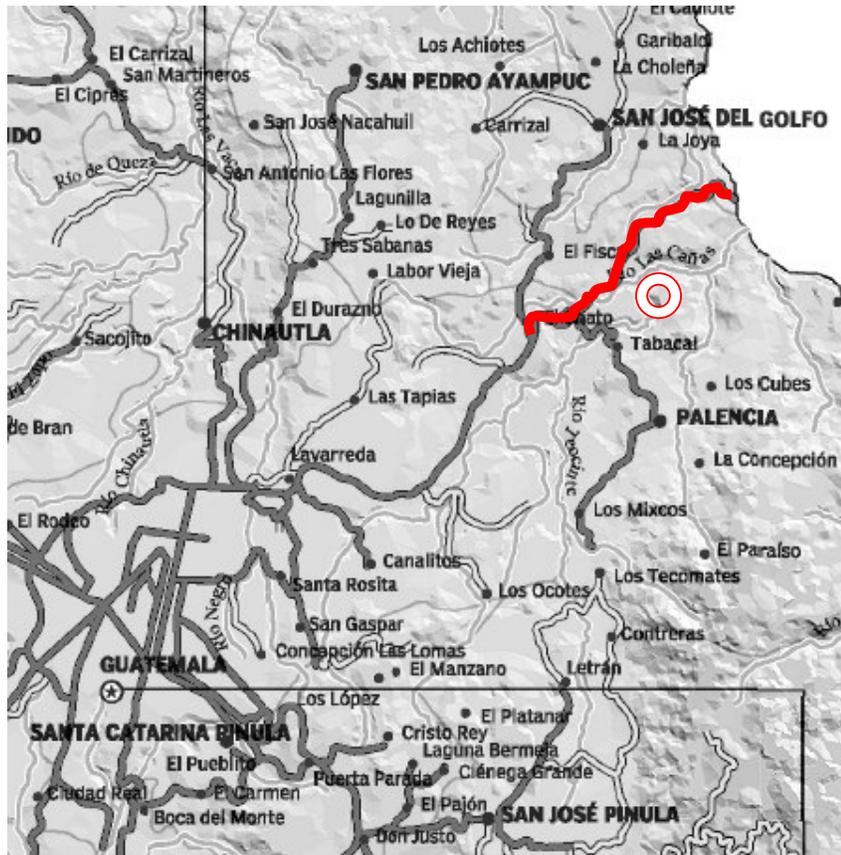


Figura 34. Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente



**Figura 35. Rehabilitación CA-1 Occidente Mixco San Lucas Sacatepequez Santa Lucia Milpas Altas**



**Figura 36. Rehabilitación CA-1 Occidente Tramo Mixco - San Lucas Sacatepequez Santa Lucia Milpas Altas**



**Figura 37. Rehabilitación CA-9 Sur Amatlan - Palin**



Una clasificación general sugerida de los tramos en evaluación, en función del tipo de servicio que presta, el tipo de pavimento, longitud y el método constructivo se presenta en la tabla II.

**Tabla II. CLASIFICACIÓN GENERAL SUGERIDA DE LOS PAVIMENTOS OBJETO DE EVALUACIÓN**

<u>TRAMO</u>	<u>Clasificación</u>	<u>TIPO</u>	<u>Longitud (km)</u>	<u>Pista o Calzada</u>	<u>Método Constructivo</u>
<b>Autopista Escuintla – Puerto Quetzal</b>	Autopista	PCH	43.88	Derecha	Tradicional
				Izquierda	Losa corta
<b>Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente</b>	Troncal	PCH	20.75	Ambas	Losa Corta
<b>Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucia Milpas Altas</b>	Troncal	PCH	18.2	Ambas	Losa Corta
<b>Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palin Escuintla</b>	Troncal	PCH	7	Ambas	Losa Corta
<b>Rehabilitación CA-9 Oriente Barberena</b>	Troncal	PCH	4.6	Ambas	Losa Corta
<b>Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros</b>	Troncal	PCH	11	Ambas	Losa Corta

### **3. EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE LOS PAVIMENTOS OBJETO DE ANÁLISIS**

#### **3.1 Antecedentes**

El método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico, es efectivamente un método innovador desde el punto de vista de su aplicación, considerando que en años anteriores se han construido pavimentos de concreto hidráulico con losas cortas pero de forma casi empírica, restringiendo su aplicación por conservación al resultado de su comportamiento a calles urbanas con bajas circulación o solicitudes de tráfico.

Por lo anterior, se hace necesario establecer si la aplicación del método constructivo de losas cortas y su distribución de cargas obtiene los resultados de diseño esperados.

También debe hacerse notar que aunque se han tenido a la vista distintas evaluaciones de su durabilidad, desempeño mecánico y mantenimiento, es necesario innovar en la creación de instrumentos de evaluación de los mismos, considerando que actualmente no se cuenta con la investigación que de el soporte suficiente que refleje el rendimiento real de los pavimentos de este tipo.

Este capítulo evaluara entonces la condición que presentan los tramos pavimentados en análisis, los cuales fueron clasificados y ubicados en el capítulo anterior, evaluados desde el punto de vista estructural y las concisiones de deterioro que presentan los mismos.

### **3.2 Condiciones estructurales**

De forma general los pavimentos rígidos de concreto hidráulico de gran demanda por circulación vehicular o altas sollicitaciones, han sido objeto de una constante evaluación, que como consecuencia de su reducida aplicación comparada con los pavimentos flexibles construidos con carpetas asfálticas han generado incertidumbre respecto a su desempeño estructural, y también respecto a sus periodos de diseño.

Según evaluaciones generales a nivel de inspección visual, en pavimentos construidos con anterioridad a los descritos en el capítulo anterior, cuya característica principal ha sido la construcción de pavimentos con losas de dimensiones superiores, y de forma geométrica rectangular, han presentado características de deterioro estructural como el descrito en el capítulo 1, donde la principal falla es a corte generadas usualmente en las esquinas de las losas, así también desgaste prematuro de la carpeta de rodadura, dejando leve exposición de agregados.

### **3.3 Clasificación de los pavimentos en evaluación según dimensionamiento de losas y fallas localizadas**

La tabla III presenta una clasificación de los pavimentos objeto de análisis, en función del uso del pavimento, longitud de los tramos en evaluación, forma geométrica y dimensionamiento de las losas, considerando como longitud máxima de la losa 1.80mt para losas cortas; adicionalmente se presenta la clasificación de los tramos en evaluación respecto a fallas localizadas en la Tabla IV.

**TABLA III Clasificación de los tramos en evaluación y su dimensionamiento general**

<u>TRAMO</u>	<u>TIPO</u>	<u>Pista o Calzada</u>	<u>Forma Geometrica</u>	<u>Dimensión de Losa (cm)</u>	<u>Espesor de losa (cm)</u>	<u>Longitud (km)</u>	<u>Método Constructivo</u>
Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	PCH	Derecha	Rectangular	450 X 350	25	43.88	Tradicional y losa corta
		Izquierda	Cuadrada	180 X180	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 Milpas Altas	PCH	Ambas	Cuadrada	180 X 180	18	18..2	Losa Corta
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palin Escuintla	PCH	Ambas	Cuadrada	180 X 180	20	7	Losa Corta
Rehabilitación CA-1 Oriente Barberena	PCH	Ambas	Cuadrada	180 X 180	18	4.6	Losa Corta
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	PCH	Ambas	Cuadrada	180 X 180	En construcción	11	Losa Corta

**TABLA IV Característica general de fallas localizadas en pavimentos objeto de evaluación**

<u>TRAMO</u>	<u>TIPO</u>	<u>Pista o calzada</u>	<u>Desportillamiento</u>	<u>Falla de corte en esquina de losa o agrietamiento</u>	<u>Desgaste superficial</u>	<u>Asentamiento leve</u>
Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	PCH	Derecha	si	SI	SI	NO
		Izquierda	si	si	Si	si
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	PCH	Ambas	si	NO	SI	Si
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucia Milpas Altas	PCH	Ambas	si	NO	SI	si
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palín Escuintla	PCH	Ambas	si	NO	SI	si
Rehabilitación CA-1 Oriente Barberena	PCH	Ambas	si	NO	SI	si
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	PCH	Ambas	En construcción	N/A	N/A	N/A

### **3.4 Clasificación del grado de deterioro de los pavimentos en evaluación**

En esta sección se propone una clasificación del grado de deterioro de los pavimentos en función de la cantidad de fallas localizadas en tramos de evaluación de las carreteras.

#### **3.4.1 Elementos empleados para el análisis del grado de deterioro de los pavimentos en evaluación**

En función de la evaluación de los diferentes tramos que han sido objeto de estudio en este informe, se han manifestado distintos tipos de fallas en sus estructuras, dentro de las que se encuentran:

- Desportillamientos
- Fallas a corte por la distribución de carga en las losas
- Desgaste en la carpeta de rodadura
- Asentamiento o bombeo en losas

Se 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, por medio de la evaluación de los tramos, tomando como referencia una ubicación arbitraria dentro del tramo en evaluación, en una longitud de evaluación de un kilómetro (1Km) en todos los carriles, y en ambas calzadas del tramo cuando estas contengan mediana es su estructura, Ver Tabla V.

**TABLA V. Clasificación del grado de deterioro en función del número de fallas localizadas**

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>NÚMERO DE FALLAS POR CALZADA</b>
Leve	1 a 20
Moderada	20 a 50
Severa	Mayor a 50

Debe también considerarse la edad de los pavimentos y las fallas presentes por malos controles de calidad constructiva, con la finalidad de realizar el mantenimiento preventivo y en el caso extremo el mantenimiento correctivo, aunque el segundo se supone necesario solamente en los casos donde el control de la calidad constructiva de los pavimentos ha sido muy deficiente.

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

A continuación se presenta el análisis del deterioro presente en los pavimentos en evaluación. Ver Tabla VI

**TABLA VI. Clasificación del grado de deterioro y la edad de los pavimentos en evaluación**

<u>TRAMO</u>	<u>Clasificación</u>	<u>TIPO</u>	<u>Pista o Cañizada</u>	<u>Edad del Pavimento (No. Años)</u>	<u>Deterioro</u>
Autopista Escuintla – Puerto Quetzal	Autopista	PCH	Derecha	19.6	Moderado
			Izquierda	5.4	Severo
Rehabilitación CA-9 Norte Guatemala – Agua Caliente	Troncal	PCH	Ambas	0.8	Leve
Rehabilitación CA-1 Occidente Ciudad San Cristóbal – San Lucas Sacatepequez- Santa Lucia Milpas Altas	Troncal	PCH	Ambas	1.25	Leve
Rehabilitación CA-9 Sur Amatitlan – Palin Escuintla	Troncal	PCH	Ambas	1.1	Leve
Rehabilitación CA-1 Oriente Barberena	Troncal	PCH	Ambas	1.1	Leve
Rehabilitación CA-1 Occidente Tecpan – Los Encuentros	Troncal	PCH	Ambas	En construcción	N/a

### **3.4.2 Equipos que pueden ser empleados para determinar la calidad de los pavimentos construidos en Guatemala**

La necesidad que se ha tenido de evitar el uso solamente de ensayos destructivos para evaluar características de los pavimentos, a impulsado la introducción de nueva instrumentación para la evaluación de los mismos, que aun se es susceptible a mejorar, un caso interesante fue la introducción de un equipo denominado deflectómetro de impacto, que permite predecir la vida útil de un pavimento.

Otros equipos modernos utilizados hoy son equipos de auscultación como, perfilómetros láser, Scrim (equipo para medir fricción), densímetros nucleares, estos equipos verifican el comportamiento estructural de un pavimento, también el equipo de medida del rozamiento transversal (SCRIM), equipo de alto rendimiento empleado para la medida continua de la adherencia entre la rueda y el pavimento, que determina el Coeficiente de Rozamiento Transversal de la carretera.

El deflectómetro de impacto que evalúa la transferencia de cargas en juntas de pavimentos de concreto hidráulico, el deflectómetro tipo Lacroix para la medición de deflexiones en los pavimentos, el perfilometro láser de alto rendimiento, equipo diseñado para registrar los perfiles longitudinales y transversales de las carreteras, así como la textura de las mismas.

El equipo de georadar de carreteras que permite, mediante reflexión de ondas electromagnéticas, evaluar los espesores de capas del pavimento o firme de forma continua, no destructiva, midiendo el intervalo de tiempo transcurrido entre los ecos producidos en sus interfaces.

También el Perfilometro Pivotante, el cual mide y registra la regularidad superficial de un pavimento.

Dentro de los equipos mencionados con anterioridad existen algunos que ya han sido empleados durante una buena cantidad de años, pero existen otros equipos con tecnologías relativamente nuevas, y que recién comienzan a estandarizarse o normarse.

En la actualidad en Guatemala son empleados equipos de auscultación como el perfilometro pivotante y el perfilometro láser de alto rendimiento, aunque ya se hace necesario remplazar la extracción de núcleos de perforación, por equipos como el georadar para carreteras, evitando así los ensayos destructivos.

A continuación se muestran dos ejemplos de las tecnologías empleadas actualmente para la determinación de las condiciones estructurales de los pavimentos en Guatemala.

**Figura 39. Fotografía de equipos de auscultación para ensayos no destructivos**



**Figura 40. Fotografía de equipos de extracción de testigos para ensayos destructivos**



## **4. INTERPETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS**

### **4.1 Generalidades**

Este capítulo realiza la interpretación del resultados obtenidos del análisis efectuado principalmente al método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico, así como de los tramos carreteros en los cuales se a puesto en practica dicho método y que fueron objeto de análisis en este informe.

Con la finalidad de tener una acertada interpretación de los resultados para los diferentes análisis realizados, debe considerarse la mayor cantidad de información posible, aunque en el caso específico de este método por ser una innovación en este tipo de pavimento, actualmente los estudios existentes respecto al mismo son escasos.

### **4.2 Interpretación del análisis del método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico**

Según el análisis realizado sobre dicho método, se ha establecido que en un inicio resulta ser una decisión muy acertada la distribución de cargas en el pavimento, ya que por la menor concentración de cargas vehiculares por losa se espera un mejor rendimiento del pavimento, adicionalmente las ventajas estructurales que induce, ya que con la innovación del método se evitan en la mayoría de los casos la utilización de refuerzos estructurales.

Como se indico en la sección 1.5, el software de ISLAB 2000 resulta ser muy útil, especialmente si lo que se desea es ahorrar tiempo en la simulación del comportamiento de los pavimentos cuando son sometidos a diferentes condiciones, pero en el caso de carecer de dicho software, se puede invertir un poco mas de tiempo por medio del calculo manual y llegar a obtener resultados similares.

Para Guatemala la construcción de este tipo de pavimentos no obedece a la aplicación rigurosa del método de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico como innovación, la construcción de este tipo de pavimento se basa en la durabilidad y bajo mantenimiento que se espera de este tipo de pavimentos (gestión de pavimentos), considerando lo siguiente:

El diseñar una estructura por durabilidad aporta ventajas técnicas y económicas, técnicamente permite que la estructura tenga un mejor desempeño en condiciones de servicio, y por tanto, la disminución en las reparaciones, que en términos económicos minimiza costos de operación y de mantenimiento, viéndose reflejado en:

- Mejor desempeño y conservación ante las condiciones de servicio.
- Mayor vida útil.
- Menores costos de mantenimiento y operativos
- Menor valor presente del costo de la construcción y de sus costos de mantenimiento.
- Coadyuva a la rentabilidad del proyecto al reducir costos excesivos por reparaciones.

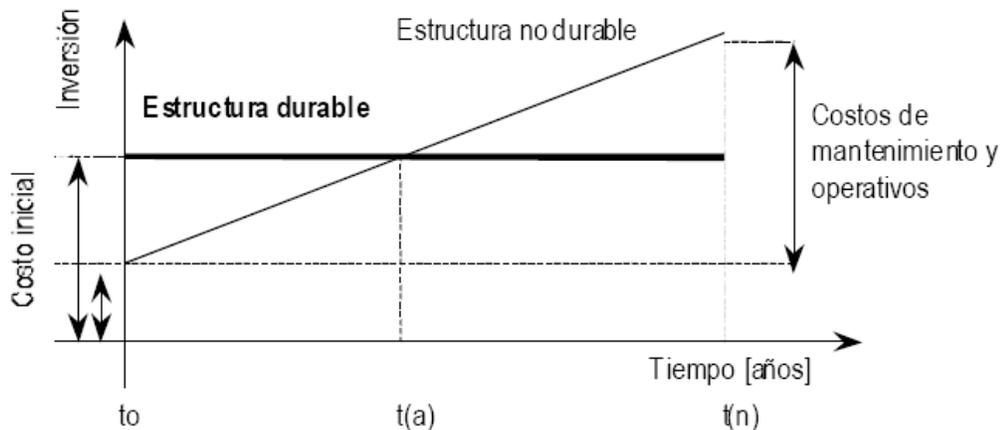
La construcción realizada con el concepto del diseño de durabilidad tiene exigencias implícitas, porque se requiere que la construcción se realice por operadores competentes, mano de obra calificada y una buena supervisión, lo cual no implica costos adicionales inherentes a su desempeño, y como resultado, su mejor funcionamiento no es más caro que el diseño que no contempla tales condiciones.

Los beneficios por considerar la durabilidad son mayores que los costos iniciales, si el costo de los ingredientes de un buen concreto no es diferente al costo de los mismos ingredientes para realizar un concreto de pobre o resistencia inferior, entonces resultan ser los costos de mantenimiento y reparaciones a largo plazo los que pueden incrementar su costo final. Esto frecuentemente sucede cuando la construcción se realiza inicialmente con ningún o escaso control de calidad.

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 dos 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 para seguir brindando servicio.

La estructura diseñada por durabilidad tiene una inversión inicial mayor, pero no debe necesitar mantenimientos ni reparaciones mayores para seguir dando servicio, y no acarrear costos operativos, ver figura 41.

**Figura 41. Comparación inversión vrs tiempo entre estructura durable y no durable**



Las especificaciones generales para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, definen entre las principales ventajas en la construcción de estos pavimento el bajo mantenimiento, la luminosidad, y la adherencia.

Efectivamente, estos pavimentos presentan estas características inicialmente, pero en Guatemala debido a las características que poseen los vehículos respecto a su mantenimiento mecánico, no tener el control sobre la contaminación que genera el transporte pesado en el traslado de sus mercaderías generan las siguientes condiciones en el primer año, Ver tabla VII.

**Tabla VII. Condición física y estructural de los pavimentos en evaluación.**

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>INICIALMENTE</b>		<b>DESPUÉS DE UN AÑO</b>	
Mantenimiento	NO			SI
Luminosidad		SI	NO	
Adherencia		SI	NO	
Fallas Estructurales	NO			SI

Por lo anteriormente expuesto debe considerarse seriamente la contaminación generada en la carpeta de rodadura, lo cual provoca la pérdida de las características de la luminosidad y la adherencia, obligando a un mantenimiento prematuro de la superficie del pavimento si se desean conservar las características de iniciales de su diseño.

### **4.3 Interpretación del análisis de la condición actual de los pavimentos en evaluación.**

Según en análisis efectuado de los tramos en evaluación se estableció que la mayoría de los tramos se encuentran ubicados en la periferia de la capital de Guatemala, evidenciando la aparición de fallas que se consideran prematuras, pudiendo ser consecuencia de una probable deficiente calidad constructiva de los pavimentos.

De los tramos evaluados se estableció que los que poseen por lo menos un año de estar en funcionamiento, presentan características físicas de deterioro que promueven mantenimientos prematuros.



## **5. INCIDENCIA ECONÓMICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

### **5.1 Antecedentes**

La necesidad que se tiene de establecer la incidencia económica de construir pavimentos hidráulicos con el método de losas sugiere un análisis del comportamiento económico de los materiales que intervienen para la construcción de dichos pavimentos.

### **5.2 Análisis de incidencia económica**

El análisis de la incidencia económica en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico ha sido efectuado por medio de la evaluación del comportamiento de las fluctuaciones en los índices económicos relativos de precios de los principales elementos que se emplean en la construcción de dichos pavimentos.

Los principales elementos para el análisis serán los agregados, dentro de los cuales están aquellos cuyo origen es la meteorización o provenientes de acumulación de partículas en fuentes hídricas, los generados a partir de la trituración de roca, y el cemento.

Se realizara un análisis considerando que en el periodo del año 2005 al 2008, se han rehabilitado la mayoría de los tramos que han sido objeto de evaluación y análisis.

A continuación se presentan los datos que representan la fluctuación de los índices económicos en los precios de venta de los principales elementos empleados en la construcción de la carpeta de rodadura de los pavimentos de concreto hidráulico según el Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. Ver Tabla VIII, y Anexo, Sección de Materiales Varios.

Determinado el porcentaje de fluctuación con la siguiente expresión:

$$i = ( \sqrt[n]{vf/vi} ) - 1$$

Donde:  $i$  = Porcentaje de fluctuación

$n$  = número de periodos de análisis

$vf$  = valor final del periodo de evaluación

$vi$  = valor inicial del periodo de evaluación

Para el año 2007, el Instituto Nacional de Estadística hace la siguiente publicación con base a los valores proporcionados por el Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, Energía y Minas, Ministerio de Trabajo y Previsión Social. Ver Tabla VIII, y Anexo, Sección de Materiales Varios.

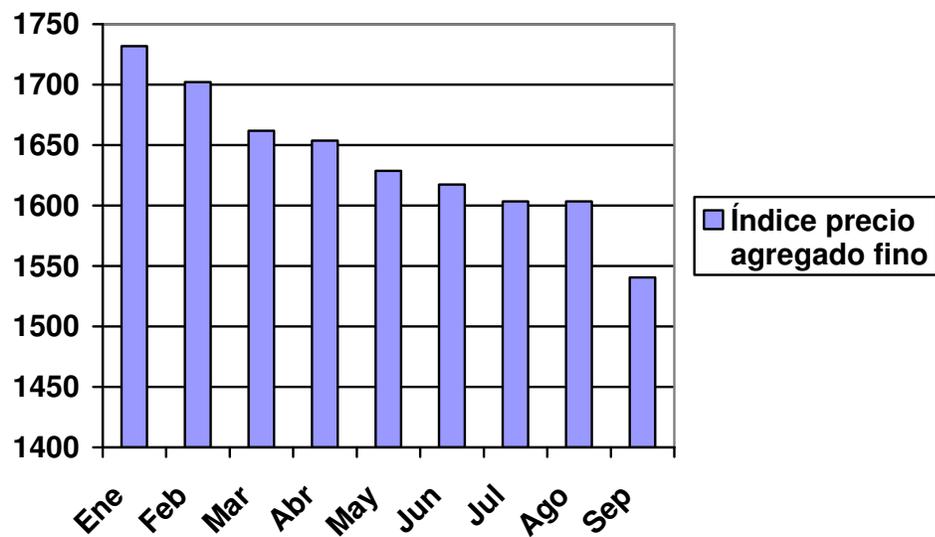
### 5.2.1 Agregado fino (arena)

IRP = Índice Relativo de Precios

**Tabla VIII. Índices del costo de venta de agregado fino (Arena)**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
IRP	1731.92	1702.18	1661.80	1653.75	1628.79	1617.33	1603.55	1603.55	1540.52

Comportamiento Gráfico:



**Porcentaje de fluctuación en índices  $i = 1.29\%$  DECRECIENTE**

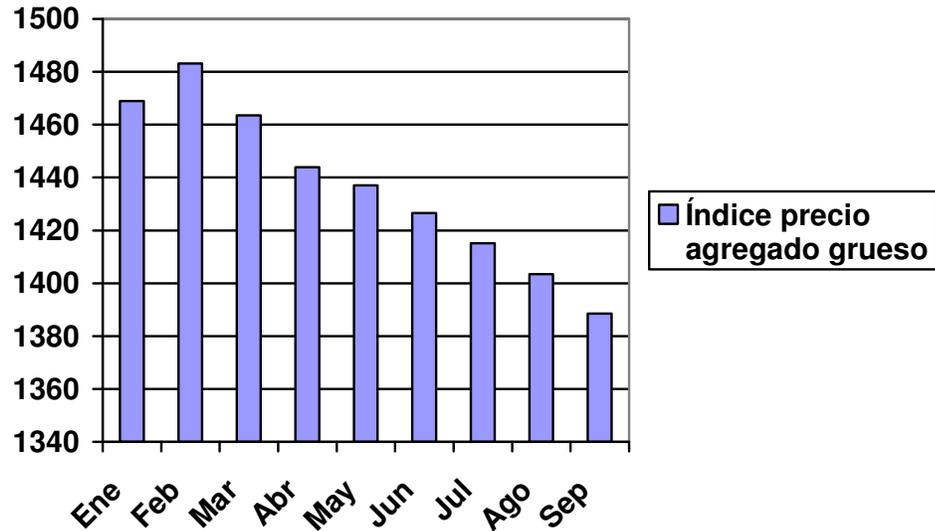
Es claro que los índices reflejan una tendencia hacia la baja en el precio de este material.

### 5.2.2 Agregado grueso (piedrín)

Tabla IX. Índices del costo de venta del Agregado Grueso (Piedrin)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
IRP	1468.93	1483.17	1463.51	1443.85	1437.06	1426.62	1415.05	1403.48	1388.51

Comportamiento Gráfico:



**Porcentaje de fluctuación en índices  $i = 0.62\%$  DECRECIENTE**

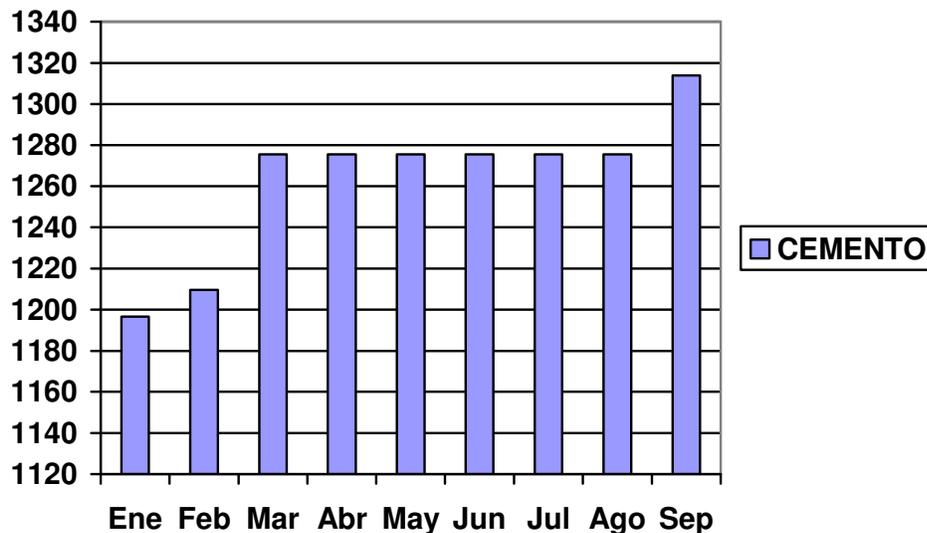
Este material presenta una tendencia similar al material anterior, donde claramente posee una tendencia hacia la baja en el precio al consumidor final.

### 5.2.3 Cemento

**Tabla X. Índices de costo de venta del Cemento**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
IRP	1196.59	1209.51	1275.61	1275.61	1275.61	1275.61	1275.61	1275.61	1313.90

Comportamiento Gráfico:



**Porcentaje de fluctuación en índices  $i = 1.04\%$  CRECIENTE**

Si consideramos que al construir este tipo de pavimentos el requerimiento de agregados debe ser superior al requerimiento del cemento empleado, se esperaba que tuvieran una tendencia similar respecto a la fluctuación de índices de precios al consumidor final, sin embargo, se estableció que contrario al comportamiento de los agregados, los cuales la fluctuación fue hacia el decremento, el índice económico que hace referencia al cemento, se incremento de forma considerable.

Si consideramos que el cemento es un elemento indispensable para el área de la construcción en Guatemala, y si adicionalmente a la demanda normal del mercado de la construcción se adhiere la demanda que representa la construcción o rehabilitación de carreteras, donde los volúmenes de consumo de cemento es realmente considerable, es de esperar que con el aumento de la demanda disminuya la existencia de dicho producto en el mercado, Generando un aumento el precio del mismo, como se ha demostrado con los valores graficados con anterioridad.

Con lo expuesto con anterioridad podemos asegurar que existe incidencia económica a nivel nacional cuando se construyen o rehabilitan este tipo de pavimentos.

También debe considerarse que la incidencia no solamente crea reacciones en el área del mercado de la construcción en el país, también induce cambios medio ambientales, consecuencia del aumento de los precios y la demanda de los materiales para su construcción, es necesaria la explotación de nuevas fuentes naturales de los mismos.

## CONCLUSIONES

- 1) Aunque con el método constructivo estructuralmente reduce el espesor del pavimento, queda en observación, ya que aún no es posible establecer la eficiencia del método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico en Guatemala, ya que las carreteras que se han construido con dicho método son de construcción reciente, no se tienen mayores registros de su comportamiento, y no han prestado el servicio suficiente para determinar la su funcionalidad.
- 2) Según evaluaciones visuales se estableció que los tramos evaluados, presentan algún tipo de deterioro; y, a pesar que la mayoría son de reciente construcción presentan características de deterioro estructural leve según la clasificación sugerida para este efecto.
- 3) Por las características constructivas y de diseño de los pavimentos de concreto hidráulico con el método de losas cortas, se establece que actualmente no se cuenta con suficientes equipos auscultación que permitan el control y calidad final de los pavimentos construidos.
- 4) Según la evaluación realizada se estableció que la construcción de pavimentos hidráulicos tiene incidencia a nivel económico, principalmente por el aumento en renglones específicos en la construcción, como lo es el aumento en corte de losas, el aumento en los índices del precio al consumidor final del cemento, (uno de los principales materiales empleados en el medio de la construcción) como consecuencia del aumento de la demanda de este material durante la construcción este tipo de pavimentos.



## RECOMENDACIONES

- 1) Debe promoverse dentro de las dependencias encargadas del mantenimiento de la red vial de nuestro país, la creación del departamento de Gestión de Pavimentos, cuyas funciones incluyan realizar el monitoreo constante de las carreteras donde se ha construido este tipo de pavimentos, y especialmente aquellas en las que se haya empleado el método constructivo de losas cortas; con la finalidad de tener de forma periódica registros confiables del comportamiento de dichos pavimentos, la certeza de la inversión y su eficiencia.
- 2) Actualizar lo referente a tecnológica en equipos de auscultación y monitoreo de pavimentos hidráulicos, ya que actualmente son pocos los equipos que se emplean para el control de calidad de los mismos.
- 3) Previamente a la construcción o rehabilitación de una carretera utilizando concreto hidráulico, debe promoverse que de forma independiente o separada se realice el monitoreo, evaluación y análisis de la incidencia económica entre la posible reducción de espesor de losa y el aumento en cantidades de trabajo requerida para la construcción general del pavimento (incremento en cantidad de cortes longitudinales y transversales de losas), sin descuidar la característica medio ambiental, dejando abierta la posibilidad de tener mas de un distribuidor de los diferentes materiales que se emplean en su construcción, tratando de minimizar la incidencia económica y posibles impactos ambientales por sobreexplotación de recursos naturales.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Ing. Carlos Crespo Villalaz. **Vías de comunicación caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.** (Tercera Edición; México: Editorial Limusa, 2,005) pp 347-384
- 2) Secretaria de integración Económica de Centro América Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos.(Edición 2,002) Capítulos 2 al 8. 289 pp
- 3) Covarrubias, JP (2,005). “ **Pavimentos delgados de concreto**” [PDF] Recuperado en Noviembre de 2007, del sitio Web del Instituto Chileno: < [http://www.ich.cl/pavimentos\\_delgados](http://www.ich.cl/pavimentos_delgados)> pp 1-33
- 4) Mora, S (2,006) 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](http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/Seminario2006/3.%20Pavimento_Concreto_%20Ing_Mora.pdf) pp 1-16
- 5) Kaenvit Vongchusiri, Neeraj Buch, Ph.D., **A parametric study to investigate the influence of pavement and load [PDF]** Recuperado en noviembre de 2007 del sitio Web del Department of Civil Engineering, Michigan State University, East Lansing, MI: [www.uctc.net/scripts/countdown.pl?561.pdf](http://www.uctc.net/scripts/countdown.pl?561.pdf) pp1-26



## BIBLIOGRAFÍA

- 1) Ing. Carlos Crespo Villalaz. **Vías de comunicación caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.** (Tercera Edición; México: Editorial Limusa, 2,005) 718 pp.
- 2) Secretaria de integración Económica de Centro América Manual Centroamericano Para El Diseño de Pavimentos.(Edición 2,002) Capítulos 2 al 8. 289 pp.
- 3) Covarrubias, JP (2,005). “ **Pavimentos delgados de concreto**” [PDF] Recuperado en Noviembre de 2007, del sitio Web del Instituto Chileno: < [http://www.ich.cl/pavimentos\\_delgados](http://www.ich.cl/pavimentos_delgados)> 33 pp.
- 4) Mora, S (2,006) **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](http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/Seminario2006/3.%20Pavimento_Concreto_%20Ing_Mora.pdf) 16 pp.
- 5) Kaenvit Vongchusiri, Neeraj Buch, Ph.D., **A parametric study to investigate the influence of pavement and load** [PDF] Recuperado en noviembre de 2007 del sitio Web del Department of Civil Engineering, Michigan State University, East Lansing, MI: [www.uctc.net/scripts/countdown.pl?561.pdf](http://www.uctc.net/scripts/countdown.pl?561.pdf) 26 pp.



## **ANEXOS**

A continuación se presenta el detalle de los índices económicos de los principales materiales de construcción empleados en Guatemala para el año 2,006 entre los meses de Enero a Septiembre, y que han sido publicados por el Instituto Nacional de Estadística de Guatemala.



2. Tubo de concreto vibro prensado base plana 1 m. largo x 12" diámetro	Unidad	1,647.77	1,455.73	1,693.95	1,656.05	1,638.54	1,600.32	1,569.11	1,533.76	1,552.55
3. Tubo de concreto no reforzado 1 m. largo x 18" diámetro	Unidad	1,345.78	1,261.04	1,405.31	1,388.42	1,379.16	1,361.58	1,338.96	1,322.75	1,403.41
4. Tubo de concreto reforzado 1 m. largo x 42" diámetro	Unidad	871.55	893.20	950.13	950.13	950.13	936.35	914.72	891.21	899.35
5. Tubería perf. concreto simple 10"	Metro lineal	1,757.97	1,382.71	1,528.14	1,517.63	1,577.63	1,589.15	1,589.15	1,589.15	1,549.15

J. MATERIALES PARA CONCRETO Y MANTOSTERIA

J1. ACERO DE REFUERZO GRADO 40

1. Varilla de 20' número 3	Quintal	1,390.24	1,488.33	1,487.57	1,536.93	1,526.28	1,526.28	1,544.90	1,548.20	1,560.85
----------------------------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

J2. ACERO DE REFUERZO GRADO 60

1. Varilla de 20' número 3	Quintal	1,333.87	1,426.04	1,452.24	1,479.20	1,470.99	1,470.99	1,471.40	1,474.55	1,485.49
----------------------------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

J3. BLOQUES Y LADRILLOS

1. Block de pómez de 20x20x40 cms.	Ciento	945.68	1,020.76	1,015.37	1,015.37	1,015.37	1,015.37	1,015.37	1,015.37	1,044.84
2. Block de pómez de 15x20x40 cms.	Ciento	878.99	893.26	990.89	983.03	971.96	968.30	968.30	968.30	947.84
3. Block de concreto de 19x19x39 cms.	Ciento	1,153.05	1,159.12	1,336.17	1,315.33	1,288.60	1,309.35	1,309.35	1,309.35	1,295.10
4. Ladrillo tubular de 6.5x11x23 cms.	Ciento	1,488.70	1,488.70	1,488.70	1,488.70	1,488.70	1,488.70	1,488.70	1,488.70	1,488.70
5. Ladrillo rayado de 6.5x11x23 cms.	Ciento	1,914.14	1,904.57	2,892.86	2,904.86	2,861.43	2,824.00	2,867.00	2,867.00	2,883.00
6. Adoquin de concreto 2500 PSI de 10 cms.	Millar	1,079.19	1,153.84	1,153.84	1,153.84	1,153.84	1,146.57	1,146.57	1,146.57	1,229.70
7. Block de concreto de 14x19x39 cms.	Millar	1,019.44	1,018.76	1,146.08	1,134.18	1,134.18	1,127.37	1,127.37	1,093.47	1,117.05

J4 MATERIALES VARIOS

1. Arena de río	Metro <sup>3</sup> 1/ Metro <sup>3</sup> 1/	1,731.92	1,702.18	1,661.80	1,653.75	1,628.79	1,617.33	1,603.55	1,603.55	1,540.52
2. Arena amarilla	Metro <sup>3</sup> 1/ Metro <sup>3</sup> 1/	2,153.68	2,119.47	2,107.54	2,098.25	2,092.81	2,080.88	2,062.11	2,043.51	1,962.81
3. Concreto de 2500 PSI	Metro <sup>3</sup>	1,548.44	1,810.27	1,810.27	1,810.27	1,810.27	1,810.27	1,810.27	1,810.27	1,810.27
4. Cal natural o viva (terron)	Bolsa 100 lbs.	1,060.00	1,120.00	1,087.86	1,087.86	1,087.86	1,058.57	1,058.57	1,058.57	1,058.57
5. Cal hidratada	Bolsa 50 lbs.	520.60	1,170.22	1,228.29	1,341.94	1,329.03	1,329.03	1,329.03	1,329.03	1,329.03
6. Cemento (P. Pub.)	Saco 42.5 Kgs.	1,196.59	1,209.51	1,275.61	1,275.61	1,275.61	1,275.61	1,275.61	1,275.61	1,313.90
8. Piedrin de 3/4" (1/2" y 3/8")	Metro <sup>3</sup>	1,468.93	1,483.17	1,463.51	1,443.85	1,437.06	1,426.62	1,415.05	1,403.48	1,388.51

K. MATERIALES PARA ELECTRICIDAD

1. Alambre N. 12 Forrado (100 mts.)	Rollito	867.37	1,095.08	1,285.21	1,283.18	1,430.46	1,416.45	1,416.45	1,416.45	1,367.14
2. Switch sencillo con placa ticino	Unidad	1,133.04	961.23	944.05	940.09	909.25	905.73	936.56	936.56	988.11
3. Tablero monofás. 8 circuitos y 3 líneas	Unidad	1,214.10	1,411.02	1,478.92	1,478.92	1,651.51	1,647.53	1,598.37	1,598.37	1,543.73



**PUBLICACIÓN OFICIAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA -INE-  
ÍNDICE RELATIVO DE PRECIOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SELECCIONADOS,  
MANO DE OBRA Y SALARIOS, EN LA CIUDAD CAPITAL  
CORRESPONDIENTE A FEBRERO Y MARZO 2007  
República de Guatemala (Base: febrero - julio 1981=100.0)**

GRUPO Y ARTÍCULO	UNIDAD DE MEDIDA	FEBRERO	MARZO	GRUPO Y ARTÍCULO	UNIDAD DE MEDIDA	FEBRERO	MARZO
<b>A. ACERO ESTRUCTURAL</b>				4. Tubo ducton de metal de 1" x 10' largo			
1. Angular laminado en frío de 20x 1/8" espesor de 1 1/4"	Unidad	1,335.86	1,402.62	Unidad			
2. Tubo industrial cuadrado de 20' chapa de 20 de 1"	Unidad	1,592.10	1,585.68	<b>L. PISOS Y AZULEJOS</b>			
3. Tubo de metal corrugado 24"x25 1/2" calibre 16	Metro lineal	1,271.24	1,327.56	1. Azulejos de 10 x 10 cms	Metro <sup>2</sup>	461.01	547.07
4. Alambre de acero de alta resistencia	Quintal	958.78	958.78	2. Piso de granito gris de 30 x 30 cms	Metro <sup>2</sup>	711.22	736.49
<b>B. ACCESORIOS PARA BAÑO</b>				3. Piso de granito mármol fondo blanco de 30 x 30 centímetros	Metro <sup>2</sup>	1,015.57	1,039.94
1. Inodoro Standard con accesorios	Unidad	1,129.26	1,129.26	<b>M. VARIOS</b>			
<b>C. COMBUSTIBLES LUBRICANTES Y DERIVADOS DEL PETRÓLEO</b>				1. Gasma (San Agustín)	Metro <sup>3</sup>		
1. Aceite Diesel	Galón	4,417.74	1,561.29	2. Malla de alambre calibre 12 con agujero de 2 1/2" (1.50 mts. alto)	Metro lineal	1,800.00	1,778.40
2. Aceite para motor diesel	Litro	922.48	922.48	3. Plywood de cuadro 4' x 8' x 3/4"	Piego	1,195.21	1,195.21
3. Gasolina regular	Galón	1,024.88	1,124.39	4. Flete	qq/Km	2,727.27	2,727.27
4. Material bituminoso AC 85/100	Galón	1,076.02	1,118.90	5. Lámpara fluor. de 4'x 40 WR S alúfluor	Unidad	706.30	706.30
5. Material bituminoso AC 120/150	Galón			6. Lintas para camión (900 x 20) nacional	Unidad	1,043.13	1,043.13
6. Material bituminoso R/C 250	Galón	1,320.00	1,385.60	7. Lintas para vehículo Liv. R. 14-6 plegos convencional, nacional	Unidad	1,078.16	1,076.16
7. Material bituminoso (SS-1H) y RS-1 (RS-K)	Galón	1,148.44	1,198.44	8. Perfil de aluminio 1 1/2" x 1 1/8"	Libra	1,467.59	1,467.59
8. Material bituminoso RS-2K	Galón	1,121.60	1,219.20	9. Sellador elástico SIKA-IGAS R	Caja 10 Kgs	3,905.07	3,905.07
9. Grasa para chasis	Libra	583.76	619.75	10. Vidrio claro de 4 mm	Pie <sup>2</sup>	841.96	841.96
10. Material bituminoso AC-20	Galón	294.12	327.60	11. Pintura anticorrosiva	Galón	1,671.71	1,671.71
11. Material bituminoso MC-70	Galón	296.44	288.08	12. Pint. estruct. metálica, color aluminio	Galón	3,088.41	3,015.99
		1,920.00	706.67	13. Pintura de hule de primera	Galón	2,722.65	2,814.02
		1,323.37	349.89	14. Pintura de aceite	Galón	1,751.12	1,721.86
		1,503.40	1,503.40	15. Pintura piseñales camétera (Rust)	Galón	4,190.83	4,190.83
		1,302.50	1,276.88	16. Pintas con cabo	Unidad	1,267.71	1,465.97
<b>H. MADERA PARA CONSTRUCCIÓN</b>				17. Postes de concreto (40' de alto)	Unidad	1,394.47	1,382.35
1. Madera para encofrados, pino riático	Pie tabla	1,335.90	1,343.59	18. Formica, plancha de 4' x 8'	Unidad	489.59	484.09
2. Madera de pino cepillada	Pie tabla	1,340.48	1,362.38	19. Abono animal (gallinaza procesada)	Quintal	771.56	771.56
<b>I. MATERIALES PARA AGUA POTABLE O DESAGÜES</b>				20. Arbol de jacaranda	Unidad	4,032.00	4,032.00
<b>II. GALVANIZADO</b>				21. Repuestos de origen importado para maquinaria pesada	Sin unidad	1,184.77	1,173.75
1. Tuberia de hierro galvanizado de 20' de largo tipo mediano de 1 1/2"	Unidad	2,210.39	2,338.33	22. Lintas de origen importado para maquinaria pesada	Sin unidad	1,385.24	1,385.13
1. Tuberia de 1" C. 250 PSI Tubo Vinyl 20"	Unidad	442.22	1,442.22	23. MAQUINARIA	Sin unidad	167.84	166.28
2. Tuberia de 1/2" C. 315 PSI Tubo Vinyl de 20"	Unidad	932.22	1,932.22	<b>N. MANO DE OBRA Y SALARIOS</b>			
<b>III. BRONCE</b>				1. Salario			
1. Válvula de compuerta de 1" (Japonesa)	Unidad	666.	666.	<b>O. ESPECIALES</b>			
<b>IV. COBRE</b>				1. Energía Eléctrica	KWH		
1. Tubo de cobre rígido de 1/2" x 20'	Unidad	889.83	889.83	2. Bunker	O/G	549.71	572.00
<b>V. MATERIALES VARIOS</b>				3. Bolsas para emb. cemento	Unidad	524.66	424.66
1. Tubo de concreto vibro prensado base plana 1 m. largo x 8" diámetro	Unidad	1,350.00	532.65	4. Índice de Precios al Consumidor (IPC) República Base diciembre 2000 = 100.0		156.35	157.70
2. Tubo de concreto vibro prensado base plana 1 m. largo x 12" diámetro	Unidad	1,455.73	693.95	5. IPC Capital (Región Metropolitana) base diciembre 1989 = 100.0		590.43	596.62
3. Tubo de concreto no reforzado 1 m. largo x 18" diámetro	Unidad	1,261.04	405.71	<b>NOTA</b>			
4. Tubo de concreto reforzado 1 m. largo x 42" diámetro	Unidad	893.20	950.13	- Índices calculados con base en información de los Ministerios de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Energía y Minas, y Trabajo y Previsión Social.			
5. Tuberia perf. concreto simple 10"	Metro lineal	1,382.71	528.14	- Índices calculados con precios cotizados en Quetzales.			
<b>J. MATERIALES PARA CONCRETO Y MAPOSTERIA</b>				1/ Índices correspondientes a precios puestos en planta			
<b>J1. ACERO DE REFUERZO GRADO 40</b>				2/ IPC Ciudad Capital (Región Metropolitana) base diciembre 2000 = 100.0, empalmado a base marzo - abril de 1983 = 100.0, con actualización a base diciembre 1989 = 100.0.			
1. Varilla de 20' número 3	Quintal	1,488.33		** Información pendiente de Publicación			
<b>J2. ACERO DE REFUERZO GRADO 80</b>				<b>PORQUE USTED LO MERECE</b>			
1. Varilla de 20' número 3	Quintal	1,426.04	452.24	periódica y publicación completa			
<b>J3. BLOCKS Y LADRILLOS</b>				de origen y a todo color.			
1. Block de pomez de 20x20x40 cms.	Ciento	1,020.76	1,015.37	Noticias y artículos curiosos.			
2. Block de pomez de 15x20x40 cms.	Ciento	893.26	950.89	completo y actualizado.			
3. Block de concreto de 15x15x39 cms.	Ciento	1,139.12	1,336.17	de aprender más.			
4. Ladrillo tubular de 6.5x11x23 cms.	Ciento	1,488.70	1,488.70	de información			
5. Ladrillo layado de 6.5x11x23 cms.	Ciento	1,904.57	2,892.86	de actualización			
6. Adoquín de concreto 2500 PSI de 10 cms	Millar	1,153.50	1,153.84	de información			
7. Block de concreto de 14x19x39 cms	Millar	1,018.76	1,146.08	de información			
<b>J4. MATERIALES VARIOS</b>				de información			
1. Arena de río	Metro <sup>3</sup> - 1/	1,702.16	1,661.80	de información			
2. Arena amarilla	Metro <sup>3</sup> - 1/	2,119.47	2,107.54	de información			
3. Concreto de 2500 PSI	Metro <sup>3</sup>	1,810.27	1,810.27	de información			
4. Cal natural o viva (terrán)	Bolsa 100 lbs.	1,120.00	1,087.86	de información			
5. Cal hidratada	Bolsa 50 lbs.	1,170.22	1,228.29	de información			
6. Cemento (P. Pub.)	Saco 42.5 Kgs.	1,209.51	1,275.61	de información			
8. Piedra de 3/4" (1/2" y 3/8")	Metro <sup>3</sup>	1,483.17	1,463.51	de información			
<b>K. MATERIALES PARA ELECTRICIDAD</b>				de información			
1. Alambre N. 12 forrado (100 mts.)	Rollo	1,099.08	1,285.21	de información			
2. Switch sencillo con placa tipo	Unidad	961.23	944.05	de información			
3. Tablero monofás. 8 circuitos y 3 líneas	Unidad	1,411.02	1,478.92	de información			

## PORQUE USTED LO MERECE

periódica y publicación completa

de origen y a todo color.

Noticias y artículos curiosos.

completo y actualizado.

de aprender más.

de información

de actualización

de información



ECCIÓN INFORMATIVA

Le invitamos a conocer

NOTICIAS NACIONALES  
E INTERNACIONALES

Diario de  
CentroAmérica



**PUBLICACIÓN OFICIAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA -INE-  
ÍNDICE RELATIVO DE PRECIOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SELECCIONADOS,  
MANO DE OBRA Y SALARIOS, EN LA CIUDAD CAPITAL.  
CORRESPONDIENTE A SEPTIEMBRE 2007**

República de Guatemala. (Base: febrero-julio 1981=100.0)

GRUPO Y ARTICULO	UNIDAD DE MEDIDA	SEPTIEMBRE
<b>ACERO ESTRUCTURAL</b>		
Acero laminado en frío de 7 x 1/8" espesor de 1/4" de ancho industrial cuadrado de 7' chapa de 20 de 1"	Unidad	1,587.99
Acero de metal corrugado 24"x25 1/2" libre 16.	Unidad	1,831.60
Acero de alta resistencia	Metro lineal	1,334.46
	Quintal	941.84
<b>ACCESORIOS PARA BAÑO</b>		
Accesorios Standard con accesorios	Unidad	1,140.07
<b>COMBUSTIBLES LUBRICANTES Y DERIVADOS DEL PETROLEO</b>		
Ceile Diesel	Galón	1,733.87
Ceile para motor diesel	Litro	922.48
Gasolina regular	Galón	1,255.12
Material bituminoso AC 85/100	Galón	1,360.49
Material bituminoso AC 120/150	Galón	**
Material bituminoso RC 250	Galón	1,432.00
Material bituminoso (RS-1H) y RS-1 (RS-K)	Galón	1,347.66
Material bituminoso RS-2K	Galón	1,372.00
Resina para chasis	Libra	619.75
Material bituminoso AC-20	Galón	391.18
Material bituminoso MC-70	Galón	354.39
<b>MINA GALVANIZADA</b>		
Mina galvanizada de 3'x 8' cal. 20	Unidad	1,883.33
<b>MINA NEGRA</b>		
Mina negra, plancha 1/16"x4'x8'	Unidad	1,350.02
<b>MINA ASBESTO-CEMENTO</b>		
Mina AC ondulada y Lámina Perfil 10	Pie lineal	1,503.40
<b>MINA PLASTICA</b>		
Mina plástica (canal paquete)	Pie lineal	1,118.75
<b>MADERA PARA CONSTRUCCION</b>		
Madera para escaleras, pino rústico	Pie tabla	1,358.97
Madera de pino cepillada	Pie tabla	1,392.86
<b>MATERIALES PARA AGUA POTABLE O DESAGÜES</b>		
<b>GALVANIZADO</b>		
Alambra de hierro galvanizado de 10' de largo tipo mediano de 1 1/2"	Unidad	2,299.90
<b>P.V.C.</b>		
Tubo de 1" C. 250 PSI Tubo Vinyl 20"	Unidad	1,598.61
Tubo de 1/2" C. 315 PSI	Unidad	1,997.22
Tubo Vinyl de 20"	Unidad	1,997.22
<b>BRONCE</b>		
Alambra de compuesto de 1" (japonese)	Unidad	767.40
<b>COBRE</b>		
Tubo de cobre rígido de 1/2" x 20'	Unidad	880.60
<b>MATERIALES VARIOS</b>		
Tubo de concreto vibrado prensado base plana 1 m. largo x 6" diámetro	Unidad	1,427.56
Tubo de concreto vibrado prensado base plana 1 m. largo x 12" diámetro	Unidad	1,552.55
Tubo de concreto no reforzado m. largo x 18" diámetro	Unidad	1,403.41
Tubo de concreto reforzado m. largo x 42" diámetro	Unidad	899.35
Tubería perf. concreto simple 10"	Metro lineal	1,549.15
<b>MATERIALES PARA CONCRETO Y MAMPOSTERIA</b>		
<b>1. ACERO DE REFUERZO GRADO 40</b>		
Varilla de 20' número 3	Quintal	1,560.85
<b>2. ACERO DE REFUERZO GRADO 60</b>		
Varilla de 20' número 3	Quintal	1,485.49
<b>3. BLOCKS Y LADRILLOS</b>		
Block de pómez de 20x20x40 cms.	Ciento	1,044.84
Block de pómez de 15x20x40 cms.	Ciento	947.84
Block de concreto de 19x19x39 cms.	Ciento	1,295.10
Ladrillo tubular de 6.5x11x23 cms.	Ciento	1,488.70
Ladrillo hueco de 6.5x11x23 cms.	Ciento	2,883.00
Adoquín de concreto 2500 PSI de 10 cms.	Millar	1,229.70
Block de concreto de 14x19x39 cms.	Millar	1,117.05
<b>4. MATERIALES VARIOS</b>		
Arena de río	Metro <sup>3</sup> - 1/	1,540.52
Arena amarilla	Metro <sup>3</sup> - 1/	1,982.81
Concreto de 2500 PSI	Metro <sup>3</sup>	1,810.27
Cal natural o viva (terrán)	Bolsa 100 lbs.	1,058.57
Cal hidratada	Bolsa 50 lbs.	1,329.03
Cemento (P. Pub.)	Saco 42.5 Kgs.	1,313.90
Piedrín de 3/4" (1/2" y 3/8")	Metro <sup>3</sup>	1,388.51
<b>MATERIALES PARA ELECTRICIDAD</b>		
Alambre N. 12 torrado (100 mts.)	Rollo	1,307.14
Switch sencillo con placa tipo	Unidad	988.11

GRUPO Y ARTICULO	UNIDAD DE MEDIDA	SEPTIEMBRE
3. Tablero monofás. 8 circuitos y 3 líneas	Unidad	1,543.73
4. Tubo ducton de metal de 1" x 10' largo	Unidad	1,394.47
<b>L. PISOS Y AZULEJOS</b>		
1. Azulejos de 10 x 10 cms.	Metro <sup>2</sup>	676.38
2. Piso de granito gris de 30 x 30 cms.	Metro <sup>2</sup>	752.43
3. Piso de granito mármol fondo blanco de 30 x 30 centímetros	Metro <sup>2</sup>	1,049.21
<b>M. VARIOS</b>		
1. Grama (San Agustín)	Metro <sup>2</sup>	357.26
2. Malla de alambre calibre 12 con agujero de 2 1/2" (1.50 mts. alto)	Metro lineal	1,798.15
3. Plywood de cedro 4' x 8' x 3/4"	Pieqo/Km.	1,260.25
4. Filete	Unidad	2,909.09
5. Lámpara fluor. de 4 x 40 WR.S s/difusor	Unidad	737.52
6. Llantas para camion (900 x 20) nacional	Unidad	1,528.73
7. Llantas para vehiculo Liv. R.14-6 pliegos convencional, nacional	Unidad	1,390.94
8. Perfil de aluminio 1 1/2" x 1/16"	Libra	1,467.59
9. Selloador elástico SIK-AIGAS R	Caja 10 Kgs	3,905.07
10. Vidrio claro de 4 mm.	Pie <sup>2</sup>	841.96
11. Pintura anticorrosiva	Galón	1,543.42
12. Pint. estruct. metálica, color aluminio	Galón	2,652.47
13. Pintura de hule de primera	Galón	3,074.47
14. Pintura de aceite	Galón	1,750.94
15. Pintura p/vehiculos carretera (fluor.)	Galón	4,190.83
16. Planchas con cabo	Unidad	1,385.69
17. Pastes de concreto (40' de alto)	Unidad	1,364.40
18. Formica, plancha de 4' x 8'	Unidad	1,127.57
19. Abono animal (gullinaza procesada)	Quintal	771.56
20. Arbol de Jacaranda	Unidad	4,032.00
21. Repuestos de origen importado para maquinaria pesada	Sin unidad	1,176.34
22. Llantas de origen importado para maquinaria pesada	Sin unidad	1,404.06
23. MAQUINARIA	Sin unidad	166.64
<b>N. MANO DE OBRA Y SALARIOS</b>		
1. Salario	Ayudante	1,506.88
<b>O. ESPECIALES</b>		
1. Energia Eléctrica	KWH	**
2. Bunkier	Q./G	726.86
3. Bolsas para emb. cemento	Unidad	424.66
4. Índice de Precios al Consumidor (IPC) República, Base diciembre 2000 = 100.0		162.06
5. IPC Capital (Región Metropolitana) base diciembre 1989 = 100.0		612.42

**NOTAS:**  
 - Indices calculados con base en información de los Ministerios de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Energía y Minas, y Trabajo y Previsión Social.  
 - Indices calculados con precios cotizados en Quetzales.  
 - 1/ Indices correspondientes a precios puestos en planta.  
 - 2/ IPC Ciudad Capital (Región Metropolitana) base diciembre 2000 = 100.0, empalmado a base marzo - abril de 1983 = 100.0, con actualización a base diciembre 1989 = 100.0.  
 \*\* Información pendiente de publicación.

(E-898-2007)-12-novi

**PORQUE USTED LO MERECE**

- Le estamos brindando un periódico con información completa.
- Nueva imagen y a todo color.
- Noticias y notas curiosas.
- Suplementos Culturales.
- En todas las páginas de la:



**SECCIÓN INFORMATIVA**

Le invitamos a conocer

NOTICIAS NACIONALES  
E INTERNACIONALES

**Diario de  
CentroAmérica**

