



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

**DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA EL
CONCRETO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BORDILLOS, EN EL
SUROESTE DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

Mario Alejandro Corado Martir

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA EL
CONCRETO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BORDILLOS, EN EL
SUROESTE DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARIO ALEJANDRO CORADO MARTIR

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

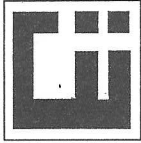
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA EL CONCRETO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BORDILLOS, EN EL SUROESTE DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha abril de 2013.



Mario Alejandro Corado Martir



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala 27 de enero de 2014

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA EL CONCRETO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BORDILLOS, EN EL SUROESTE DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante: Mario Alejandro Corado Martir, con carné 2010-20942.

Considero que el trabajo de graduación se a desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado. Sin otro particular, atentamente


Mario Rodolfo Corzo Avila
Ingeniero Civil Colegiado No. 2089
Jefe de la Sección de Estructuras



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



Guatemala,
 19 de mayo de 2014

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA EL CONCRETO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BORDILLOS, EN EL SUROESTE DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Mario Alejandro Corado Martir, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Guillermo Melini Salguero

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
 Coordinador del Área de Materiales y
 Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
 AREA DE MATERIALES Y
 CONSTRUCCIONES CIVILES

USAC

Más de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y el Coordinador del Área de Materiales Y Construcciones Civiles Guillermo Francisco Melini Salguero , al trabajo de graduación del estudiante Mario Alejandro Corado Martir, titulado **DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA EL CONCRETO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BORDILLOS, EN EL SUROESTE DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA,** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto de 2014

Mas de 154 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA EL CONCRETO UTILIZADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE BORDILLOS, EN EL SUROESTE DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Alejandro Corado Martir** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, agosto de 2014



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por su infinita misericordia y amor, al permitirme alcanzar una de mis metas dándome paz, salud y amor.
- Mis padres** Mario Corado y Aura Odilia Martir, por amarme, ser un apoyo incondicional y esforzarse, por hacer de mí una persona de bien.
- Mis abuelos** Ana Galicia, Alonzo Martir, Alberto Corado y Elida Guzmán (q.e.p.d.), por sus consejos, amor y apoyo.
- Mis hermanos** Eduardo, Aura Marina, María Corado Guzmán y los que Dios me ha dado en el camino: Mario García, Luz Mérida, David Laparra, Wendy Mérida, Ronal Portillo, Jimmy Marroquín, Jesús Moreno, que siempre han estado conmigo brindándome su cariño y apoyo para verme triunfar, gracias.
- Mi novia** Maggy Pineda, que con su amor incondicional ha llenado mi vida de nuevos sueños, siendo un soporte fundamental para alcanzar mis logros, te amo.

Mis tíos

En especial a Edwin Martir, David Martir y Arnoldo Martir, que con sus consejos y confianza en mí, me han llenado de fuerza para seguir adelante.

Mis sobrinos

En especial a Owaldo Corado, Katherine Corado y Jennifer Corado, que con su cariño me alientan a seguir adelante, para demostrarles que si se puede.

Mis primos

Por su confianza y aliento, en especial a Erick Valiente, Arnoldo Martir, Max Martir, Isaías Martir, William Baraona, Danilo Valiente, Luis Marroquín, Ronaldo Salguero, Diego Mérida.

**Ing. Mario Rodolfo
Corzo Ávila**

Por su interés en el desarrollo de Guatemala, por medio de sus estudiantes que apoya incondicionalmente.

Mis amigos

En especial a María Fernanda Ramirez, Mario Cuté, Jorge Recinos, Marco Escalante, Cristhian Valle, Josué Mejía, Jimmy Yoc, Josué Chic, Kevin Martinez, Gerber González, Javier Hernandez, Carlos Calderón, Narda Pacay, Robin Gómez, Tony Velazquez, Veronica Mendez, Hamilton Ta quej, que con su ejemplo me han incentivado a seguirlos y lograr todo lo que me propongo, igual que ellos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. BORDILLOS.....	1
1.1. Definición.....	1
1.2. Características de los bordillos.....	1
1.2.1. Función.....	1
1.2.2. Composición.....	2
1.3. Tipos de bordillos	3
1.3.1. Por su forma geométrica	3
1.3.1.1. Los bordillos verticales	3
1.3.1.2. Los bordillos inclinados.....	3
1.3.2. Por su metodología constructiva.....	5
1.3.2.1. Construidos <i>in situ</i>	5
1.3.2.2. Prefabricados.....	5
1.4. Influencias mecánicas en la vida de servicio	6
1.4.1. Resistencia al desgaste por abrasión	6
1.4.2. Esfuerzos por deformación térmica	7
1.5. Construcción de bordillos según las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, Dirección General de Caminos (Libro Azul), (DGC)	7

1.5.1.	Clase y resistencia del concreto.....	7
1.5.2.	Requisitos de los materiales para la fabricación del concreto.....	8
1.5.2.1.	Cementos hidráulicos.....	8
1.5.2.2.	Agregado fino.....	9
1.5.2.3.	Agregado grueso.....	10
1.5.2.4.	Agua.....	12
1.5.3.	Requisitos de construcción.....	12
1.5.3.1.	Requisitos indispensables para el manejo y colocación del concreto.....	12
1.5.3.2.	Formaleta.....	13
1.5.3.3.	Juntas.....	14
1.6.	Investigación de campo de bordillos.....	14
2.	ESFUERZOS Y DEFORMACIONES DE ORIGEN TÉRMICO.....	21
2.1.	Cambios de temperatura en el concreto durante la vida de servicio.....	22
2.2.	Coeficiente de Dilatación Térmica (CDT).....	23
2.2.1.	CDT teórico.....	24
2.3.	Métodos para determinar el CDT.....	26
2.4.	Algunos otros factores pueden tener una influencia en CDT ...	27
2.4.1.	La humedad en el concreto.....	27
2.4.2.	Influencia del tipo de agregado.....	27
2.4.3.	Efecto de las propiedades mecánicas del concreto en el CDT.....	28
2.5.	Juntas en el concreto.....	28
2.5.1.	Tipos de juntas.....	29
2.5.1.1.	Juntas de contracción.....	29
2.5.1.2.	Juntas de aislamiento o dilatación.....	31

	2.5.1.3.	Juntas de construcción	32
	2.5.2.	¿Por qué se construyen las juntas?.....	33
	2.5.3.	¿Cuándo hacer las juntas?	33
	2.5.4.	Agrietamientos aleatorios	34
3.		CONDICIONES AMBIENTALES DEL SUROESTE DEL	35
		MUNICIPIO DE GUATEMALA.....	35
3.1.		Ciudad de Guatemala.....	35
	3.1.1.	Clima	36
	3.1.2.	Geografía.....	36
3.2.		Temperatura	37
3.3.		Humedad relativa promedio.....	43
4.		MÉTODO DE ENSAYO.....	47
4.1.		Alcance.....	47
4.2.		Resumen del método	47
4.3.		Equipo	48
4.4.		Espécimen de ensayo	49
4.5.		Procedimiento.....	49
	4.5.1.	Procedimiento de la prueba	49
4.6.		Cálculos.....	52
4.7.		Calculando el CDT	55
5.		RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	57
5.1.		Determinación del CDT	74
5.2.		Diseño de la junta de dilatación para los bordillos construidos en el suroeste del municipio de Guatemala.....	75
5.3.		Análisis	77

CONCLUSIONES..... 79
RECOMENDACIONES 83
BIBLIOGRAFÍA..... 85
APÉNDICE 89
ANEXOS..... 97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de bordillos por su forma	4
2.	Grietas por contracción	15
3.	Grietas por dilatación	15
4.	Desgaste por abrasión	16
5.	Separación entre grieta	16
6.	Separación entre grieta 2	17
7.	Junta de dilatación	18
8.	Bordillos ya existentes.....	19
9.	Junta de contracción	30
10.	Junta de dilatación	31
11.	Junta de construcción	32
12.	Deformación <i>versus</i> temperatura	68
13.	Descenso de temperatura	69
14.	Ascenso de deformación <i>versus</i> temperatura	72
15.	Trazo de líneas de tendencia	73

TABLAS

I.	Graduación de los agregados	9
II.	Graduación agregado grueso.....	11
III.	Rangos típicos de CDT de los componentes más comunes del concreto de cemento hidráulico.	24
IV.	CDT teóricos	25

V.	Temperatura máxima promedio (°C).....	37
VI.	Temperatura mínima promedio (°C)	39
VII.	Temperatura promedio (°C)	41
VIII.	Porcentaje de humedad relativa promedio	43
IX.	Mediciones tomadas	53
X.	Dosificación de la mezcla	58
XI.	Lecturas del ensayo.....	59
XII.	Lecturas en metros	62
XIII.	Deformación total sin vibración 1a	65
XIV.	Deformación total sin vibración 1b	70
XV.	Pendientes de la gráfica (deformación <i>versus</i> temperatura).....	74
XVI.	Determinación del CDT.....	74

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ΔT	Cambio de Temperatura
α o CDT	Coeficiente de Dilatación Térmica
D_2	Deformación encontrada por linealidad, que supone el cambio de longitud que la probeta alcanza en la zona de vibración, hasta la siguiente lectura
D_1	Deformaciones dependientes del cero de referencia (después de la zona de vibración)
δ	Deformación térmica
ε	Deformación unitaria m/m
μ	El prefijo o carácter micro, en el Sistema Internacional de Medidas representa una millonésima, o 10^{-6} parte de otra unidad
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius, unidad térmica
L_0	Longitud inicial del elemento de concreto

msnm	Metros sobre el nivel del mar
m	Pendiente de una recta
X1, Y1	Posición final en el eje horizontal (x) y en el eje vertical (y) de una recta, en la fórmula punto pendiente
Xo, Yo	Posición inicial en el eje horizontal (x) y en el eje vertical (y) de una recta, en la fórmula punto pendiente
f'c	Resistencia del concreto a los 28 días
t₁	Temperatura final, antes del siguiente aumento de temperatura
t_i	Temperaturas en aumento en el rango sin vibración
t₂	Temperatura inicial después de la zona de vibración

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
Abrasión	Acción y efecto de desgastar por fricción.
Agregado fino	Agregado que tiene un diámetro que varía entre 0,074 y 4,76 milímetros (arena).
Agregado grueso	Agregado que tiene un diámetro que varía entre 4,77 y 19,10 milímetros (piedrín).
Agregados	Materiales pétreos o inertes que sirven para elaborar mezclas de concretos o morteros de albañilería.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Bituminosos	Hecho de bitumen que es una mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, negra, pegajosa, que proviene de la destilación fraccionada del petróleo.
Contracción térmica	Reducir el tamaño, aumentando su densidad. Por efectos del descenso de temperatura.

Curar	Dar condiciones adecuadas de humedad y temperatura durante el proceso de fraguado para obtener el concreto endurecido con las características deseadas.
Deformación térmica	Cambio en el tamaño o forma de un cuerpo, provocado por la acción de la temperatura.
Deformímetro	Instrumento para medir desplazamientos lineales. La medida se lee en una carátula que contiene una aguja principal que recorre 100 unidades para completar una vuelta y una aguja pequeña que recorre 10 unidades.
Dial	Superficie graduada, de forma variable, sobre la cual se mueve un indicador, que mide o señala una determinada magnitud.
Dilatación térmica	Aumento de longitud, superficie o volumen de un cuerpo por separación de sus moléculas con disminución de su densidad. Por efectos del aumento de temperatura.
Erosión	Desgaste o destrucción producido en la superficie de un cuerpo por la fricción continua o violenta de otro.
Fraguar	Cambio de un estado plástico a un estado sólido (endurecimiento del concreto).

<i>In situ</i>	Es una expresión latina que significa en el sitio o en el lugar.
Isohigras	Curva para la representación cartográfica de los puntos de la Tierra con la misma humedad relativa anual.
Isotermas	Curva para la representación cartográfica de los puntos de la Tierra con la misma temperatura media anual.
LVDT	Linear Variable Differential Transformers.
PCC	Portland Cement Concrete.
Puzolana	Materia esencialmente silicosa que finamente dividida no posee ninguna propiedad hidráulica, pero posee constituyentes (sílice - alúmina) capaces, a la temperatura ordinaria de fijar el hidróxido de cal para dar compuestos estables con propiedades hidráulicas.
Temperatura	Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente.
UNE-EN	Una Norma Española-European Norm. Normas Aenor. Que Son Estándares Europeos.

RESUMEN

Los bordillos son estructuras de concreto simple, construidas a los bordes de la carpeta de rodadura, para cumplir funciones de drenaje y encausamiento de los vehículos, por lo que su durabilidad es de gran importancia. Esto dependerá de la inexistencia de esfuerzos térmicos, que son provocados por la restricción a la dilatación al aumentar la temperatura y contracción al disminuirla.

Lo cual es controlado por la realización de juntas de dilatación y contracción, que hacen que estos cambios de volumen en los elementos de concreto se realicen libremente. Estas juntas son diseñadas con base en el Coeficiente de Dilatación Térmica del concreto, puesto que esto determinará la deformación máxima que el concreto puede alcanzar en función del cambio de temperatura en el ambiente.

Este coeficiente del concreto dependerá primordialmente de los agregados utilizados. Otra característica importante de la dilatación térmica radica en que los coeficientes de la pasta de cemento y los agregados gruesos deben ser similares, para que estos dos trabajen en forma homogénea.

Las juntas son normadas por las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, DGC, que exige que sean a cada 10 metros con un ancho de 15 milímetros.

El hecho que esta separación sea mandada por la entidad que controla la construcción de carreteras en Guatemala, no asegura que estos datos sean

precisos, puesto que los mismos son en base a las investigaciones realizadas por la AASHTO. Lo que lleva a pensar que las condiciones en que se realizan, no son las mismas para Guatemala.

El CDT se determinó bajo la referencia de la Norma AASHTO TP 60, 2006. Que indica que el ensayo se debe realizar bajo condición saturada (la probeta sumergida en agua), realizando cambios de temperatura de 10 a 50 grados Celsius, tomando las deformaciones en la probeta que tendrá un diámetro de 10 centímetros y una altura de 18 centímetros, estas especificaciones fueron adoptadas a las condiciones, debido a la imposibilidad del equipo requerido por la norma.

Se determinó que el CDT del concreto utilizado en la construcción de bordillos es de 207,51 por ciento mayor que el coeficiente determinado en el extranjero. Lo que provoca que la junta requerida por la DGC, sea insuficiente para el libre movimiento que tendrá el bordillo con las condiciones ambientales del suroeste del municipio de Guatemala.

OBJETIVOS

General

Hacer conciencia en los constructores de la importancia de la realización de una buena junta, no importando el tipo de esta, y como parte de la filosofía universitaria la transferencia del conocimiento por medio de la investigación.

Específicos

1. Determinar un Coeficiente de Dilatación Térmica para el concreto utilizado en la construcción de bordillos, en el suroeste del municipio de Guatemala.
2. Crear una base experimental para el cálculo de las deformaciones térmicas en el concreto utilizado en la construcción de bordillos, en el suroeste del municipio de Guatemala.
3. Conocer el verdadero comportamiento del Coeficiente Térmico del concreto para la construcción de bordillos, fabricado en Guatemala.
4. Elaborar un proceso experimental para la determinación del Coeficiente de Dilatación Térmica, con las condiciones del medio.
5. Comparar los coeficientes realizados por entidades internacionales, y el coeficiente real de un concreto en el medio.

6. Explicar los factores de influencia en el valor del Coeficiente de Dilatación Térmica (CDT).

INTRODUCCIÓN

Las deformaciones térmicas ocurren durante una transferencia de calor, los sólidos normalmente se expanden al calentarse y se contraen al enfriarse; este comportamiento de respuesta ante la temperatura se expresa mediante el Coeficiente de Dilatación Térmica (típicamente expresado en unidades de grados Celsius a la menos uno). Estas deformaciones pueden ocasionar que se induzcan esfuerzos en los elementos de concreto.

En el diseño de elementos de concreto (sean reforzados o no), muy pocas veces el diseñador se toma la tarea de evaluar los esfuerzos provocados por la deformación térmica, ya sea por falta de información sobre el tema, o por no considerarlo importante. Lo cierto es que este problema disminuye grandemente la durabilidad de los elementos, debido a que los cambios de temperatura ocasionan grietas en los elementos de concreto que son restringidos por otra parte de la estructura o por el mismo terreno.

Al referirse específicamente a los bordillos, todas las estructuras conexas a estos disminuyen su durabilidad, lo que conlleva a grandes daños en el pavimento, puesto que los bordillos cumplen funciones de protección hacia la base del mismo. Es por ello la importancia del conocimiento de estas deformaciones.

El método utilizado para la determinación del CDT está normado por la AASHTO, y tiene requerimientos de equipo que hacen falta en el país. Es por ello que en el siguiente trabajo se propone un método para la determinación de este coeficiente. Utilizando los lineamientos de estas normas, adoptando a los

equipos que posee el Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El trabajo empezará mostrando lo relacionado con los bordillos en cuanto a su definición, función, fabricación, tipos, para sumergirse en el tema relacionado con los cambios de temperatura del concreto. Esto ayudará a tener una base teórica para la determinación del Coeficiente de Dilatación Térmica para el concreto en estudio, proponiendo un método de ensayo para ello.

1. BORDILLOS

1.1. Definición

Son estructuras hechas de concreto simple, paralelas al eje central de la carretera, ya sea en ambos lados o al centro de la misma. Estos son utilizados para el encausamiento del agua y el ordenamiento de los vehículos.

1.2. Características de los bordillos

Los bordillos son estructuras destinadas principalmente a la división entre carriles y pasos peatonales, pero una de las funciones más importantes radica en el control del drenaje, por lo que su composición debe ser elegida respecto a la durabilidad de la carretera.

1.2.1. Función

El tipo y la ubicación de los bordillos afectan el comportamiento del conductor y, a su vez, la seguridad y utilidad de la carretera. Los bordillos son utilizados para el control del drenaje (sobre todo en las secciones de relleno), el control del acceso, la separación visual de la zona vehicular y la zona peatonal, reducción de los derechos de paso, un ordenamiento del tráfico, soporte estructural al borde del pavimento para evitar la erosión, estética, reduce las operaciones de mantenimiento y proporcionan seguridad al usuario, en cuanto a reencauzar los vehículos que pierden el control, impactándose contra ellos.

Desde este punto de vista son utilizados como elementos individuales o combinados con barreras de protección. También sirven de base para la construcción posterior de banquetas y para formar con la carpeta de pavimento una especie de canal o cuneta, por donde conducirá el agua de lluvia que cae sobre la corona o capa de rodadura.

Los bordillos son ampliamente utilizados en todo tipo de vías urbanas de baja velocidad. En aras de la seguridad se debe tener precaución en el uso de los bordillos en carreteras rurales, de alta velocidad. Se necesitan los bordillos en las carreteras de alta velocidad rurales, debido a consideraciones de drenaje, la necesidad de control de acceso, restringido derecho de vía, u otras razones. Estos siempre deben estar situados en el borde exterior del hombro.

1.2.2. Composición

Los bordillos pueden ser de asfalto, concreto moldeado en el lugar (concreto simple), prefabricados de concreto o piedra, que incluya piedra azul, piedra arenisca y granito. El bordillo a elegir dependerá de la durabilidad necesitada del lugar donde esté colocado, así como la posibilidad de instalación que se tenga.

Si bien los bordillos de concreto de cemento hidráulico son los más utilizados, los bordillos de granito se utilizan cuando la oferta local los hace económicamente competitiva. Debido a su durabilidad, se prefiere granito sobre concreto de cemento hidráulico.

Hormigón convencional o bordillos bituminosos ofrecen poco contraste visible a los pavimentos normales, sobre todo durante la niebla o por la noche cuando las superficies están mojadas. La visibilidad de canalización de islas

con bordillos y de los bordillos continuos a lo largo de los bordes de la calzada puede ser mejorada mediante el uso de marcadores reflectantes que se adjuntan a la parte superior del bordillo.

1.3. Tipos de bordillos

Estos elementos son diversos en cuanto a la forma geométrica y el material utilizado para su fabricación. La forma geométrica dependerá principalmente del tipo de carretera y el material de la durabilidad deseada.

1.3.1. Por su forma geométrica

Las políticas sobre el diseño y uso de las características de la sección transversal de una carretera, incluyendo los bordillos, está contenida en la AASHTO's Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Aquí se definen dos tipos básicos de bordillos como se muestra en la figura 1, bordillos verticales e inclinados:

1.3.1.1. Los bordillos verticales

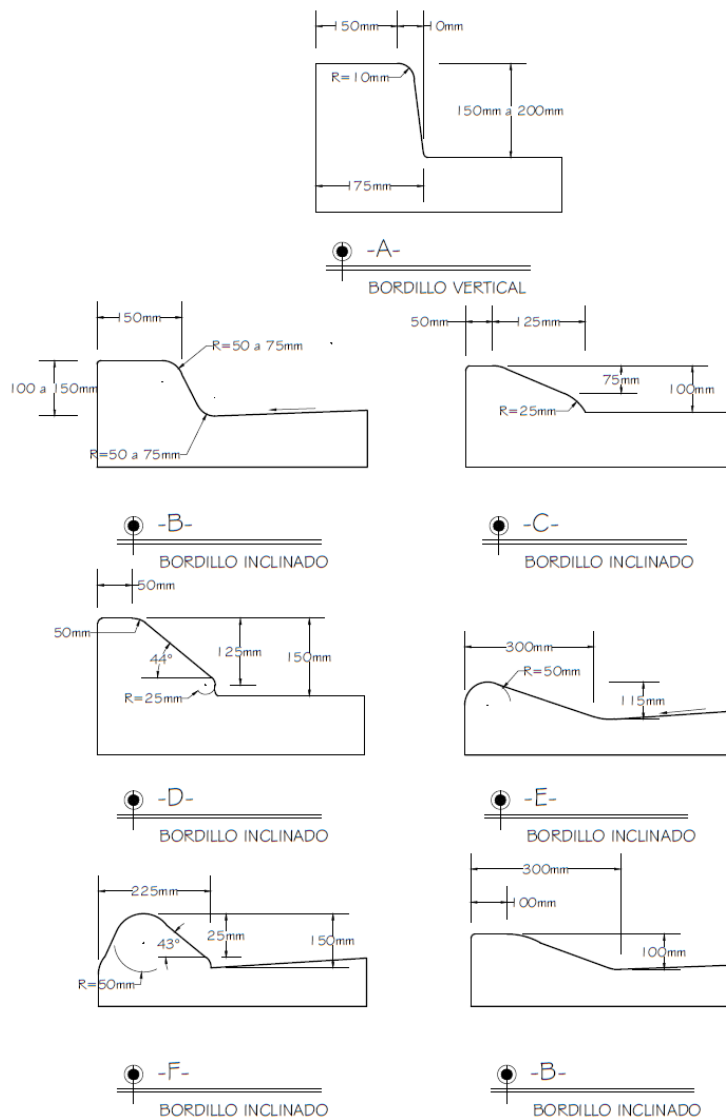
Estos tienen una cara vertical o casi vertical. Tales bordillos usualmente sirven para muchos propósitos, incluyendo el evitar que los vehículos se salgan del camino, soporte a las banquetas y la delineación del pavimento.

1.3.1.2. Los bordillos inclinados

Estos tienen una cara inclinada, de tal forma que los vehículos puedan montarlos y pasar sobre ellos, por lo tanto estos bordillos son diseñados para que no reencausen el vehículo. Además estos son utilizados en situaciones

donde, el posible reencause, haga perder el control del vehículo, es por esto que son mayormente utilizados para el control del drenaje y delineación de la carretera. Los bordillos inclinados también permiten que los vehículos tengan acceso a las afueras de la carretera en las situaciones de emergencia.

Figura 1. Tipos de bordillos por su forma



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCad 2011.

1.3.2. Por su metodología constructiva

El método de construcción utilizado estará en función de la planificación, las condiciones del terreno y el ambiente que el proyecto específico provea. Tomando en cuenta que la facilidad o practicidad será un factor en los costos del proyecto.

1.3.2.1. Construidos *in situ*

Estos tipos de bordillos son construidos a mano o con equipo especial, en el lugar donde específicamente deberán llevar a cabo su función. Son de concreto simple y deben apegarse a las *Especificaciones Generales Para Construcción de Carreteras y Puentes*, Dirección General de Caminos, en cuanto a los procesos que debe llevar el formaleteado, mezclado, fundición y curado (lo cual se mencionará más adelante).

1.3.2.2. Prefabricados

Son bordillos elaborados en serie en un lugar determinado fuera de su ubicación final. Estos elementos pueden estar hechos de concreto, piedra, granito, dependiendo específicamente de la demanda.

Los bordillos prefabricados hoy en día son ampliamente utilizados en la industria de la construcción. Se ha empezado a sustituir el uso de bordillos hechos en obra por estos prefabricados, pero no lo sustituye por completo, debido a su alto costo, aunque algunas veces el alto rendimiento en su colocación hace que sea más conveniente su utilización.

Los bordillos prefabricados son utilizados mayormente para cumplir una función estética, por lo que sus diseños son variados en cuanto a color, forma y tamaño.

Hay algunas normas que rigen la construcción en serie de estos elementos, una de estas son las Normas UNE-EN 1340 y UNE 127 340.

1.4. Influencias mecánicas en la vida de servicio

Los bordillos se ven afectados más seriamente por los esfuerzos provocados por los cambios de temperatura, puesto que estos inciden en las fisuras de los elementos y por ende el deterioro de los mismos.

1.4.1. Resistencia al desgaste por abrasión

Este índice está directamente relacionado con la resistencia al desgaste por abrasión de los agregados empleados en la construcción del bordillo, ya sea *in situ* o prefabricado. En las especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, Dirección General de Caminos, indica que para los agregados utilizados en la construcción de bordillos construidos *in situ*, deben poseer un porcentaje de desgaste no mayor a 40 por ciento en masa después de 500 revoluciones en el ensayo de abrasión, AASHTO T 96 o ASTM C 131 y ASTM C 535.

Por otro lado los bordillos hechos de concreto prefabricado (en núcleo) deben poseer un desgaste menor de 23 milímetros, según las Normas UNE-EN 1340 y UNE 127 340.

1.4.2. Esfuerzos por deformación térmica

Estos se dan debido a la disminución o aumento de la temperatura, que ocasiona que los elementos se contraigan o se expandan respectivamente. Al ocurrir este efecto dado que los elementos están restringidos, ya sea por el suelo o por otros elementos como el pavimento, cuneta, acera, o incluso otro bordillo. Y al entrar en contacto con estos se realice un efecto de acción y reacción, provocando un empuje contrario a la deformación térmica, lo que conlleva una inducción de fuerza axial en el prisma y es a esta acción que se le denomina esfuerzos por deformación térmica.

1.5. Construcción de bordillos según las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, Dirección General de Caminos (Libro Azul), (DGC)

Los requisitos mostrados en estas especificaciones se basan en tres puntos: calidad, metodología constructiva y las juntas de dilatación, es por ello que se describen ciertos criterios a tomar en cuenta en el manejo y utilización del material para la construcción de bordillos.

1.5.1. Clase y resistencia del concreto

El Libro Azul, denomina clase al nombre que se le da al concreto según la resistencia esperada. Entonces para la construcción de bordillos se necesita un concreto clase 17,5 mega Pascales, que alcance una resistencia a los 28 días de 17,5 mega Pascales en núcleos de concreto a compresión.

1.5.2. Requisitos de los materiales para la fabricación del concreto

Las características mínimas que debe tener una buena mezcla de concreto son necesarias para la calidad en un bordillo, puesto que la durabilidad del elemento depende de la calidad del concreto que esta compuesto.

1.5.2.1. Cementos hidráulicos

Se ha comprobado que las empresas ejecutoras, prefieren utilizar un tipo de cemento con alta resistencia inicial para la construcción de bordillos *in situ*, puesto que es necesario que este tipo de estructura comience su vida de servicio mucho mas rápido y también por el tipo de metodología constructiva, que conlleva utilizar una cantidad limitada de formaleta, por el alto costo que representa la misma. Es por ello que utilizan el cemento con alta resistencia inicial clase 35 mega Pascales (5000 Psi).

Estos cementos deben ajustarse a las Normas AASHTO M 85, ASTM C 150 o COGUANOR NG 41005 para los cementos Portland ordinarios y a las Normas AASHTO M 240, ASTM C 595 o COGUANOR NG 41001 y ASTM C 1157L.

En Guatemala solo se produce el cemento Pórtland Modificado con puzolana bajo la Norma ASTM C-595.

La composición del cemento Pórtland Modificado con puzolana Tipo I (PM) es de la siguiente manera:

- 81 – 97 % de clinker Pórtland

- 1 – 15 % de puzolana
- 2 – 4 % de yeso

1.5.2.2. Agregado fino

Las cantidades de sustancias perjudiciales permisibles serán las establecidas para clase B de acuerdo a AASHTO M 6. La graduación del agregado debe estar dentro de los límites mostrados en la tabla I.

Tabla I. **Graduación de los agregados**

TAMICES AASHTO 92			PORCENTAJE EN MASA QUE PASA
9,500	mm	3/8"	100
4,750	mm	No.4	95-100
2,360	mm	No.8	80-100
1,180	mm	16	50-85
0,600	mm	30	25-60
0,300	mm	50	10-30
0,150	mm	100	2-10
0,075	mm	200	0- 5

Fuente: Dirección General de Caminos Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda República de Guatemala. *Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes*. diciembre 2000. p. 553.

Para arena triturada, si el material que pasa por el tamiz 0,075 milímetros (No. 200) consiste en el polvo de la trituración, libre de arcilla o esquistos arcillosos, el límite de material que pasa por el tamiz 0,075 milímetros (No. 200) puede ser elevado a 5 por ciento en concretos sujetos a desgaste superficial y a 7 por ciento en otros concretos.

El módulo de finura no debe ser menor de 2,3 ni mayor de 3,1 ni variar en más de 0,20 del valor asumido al seleccionar las proporciones del concreto.

1.5.2.3. Agregado grueso

Debe cumplir con los requisitos de AASHTO M 80 y ASTM C 33; además, el porcentaje de desgaste no debe ser mayor a 40 por ciento en masa después de 500 revoluciones en el ensayo de abrasión, AASHTO T 96 o ASTM C 131 y ASTM C 535.

La graduación del agregado grueso, debe satisfacer una de las graduaciones mostradas en la tabla II.

Tabla II. Graduación agregado grueso

PORCENTAJE POR PESO QUE PASA POR TAMICES DE ABERTURA CUADRADA											
GRADUACIONES AASHTO M80	63,0 mm	50,0 mm	38,1 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm		
No 7	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5		
No 67	-	-	-	100	90-100	25-60	20-55	0-10	0-5		
No 57	-	-	100	95-100	-	-	1 0-30	0-10	0-5		
No 467	-	100	95-100	-	35-70	-	0-5	0-5	-		
No 357	100	95-100	-	35-70	-	1 0-30	-	0-5	-		
No 4	-	100	90-100	20-55	0-15	-	-	-	-		
No 3	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-		

El material que pasa el Tamiz 0,075 mm (Nº200) no debe exceder de 1,0%, salvo el caso que consista de polvo de trituración, libre de arcilla, esquistos ó pizarras, en cuyo caso, se podrá aceptar un límite máximo de 1,5%.

Fuente: Dirección General de Caminos Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda República de Guatemala. *Especificaciones Generales Para Construcción de Carreteras y Puentes*, diciembre 2000. p. 554.

1.5.2.4. 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.

1.5.3. Requisitos de construcción

Las especificaciones dadas no muestran parámetros de cómo construir un bordillo, pero muestra los requisitos indispensables del manejo y colocación del concreto, asimismo, el tipo de junta a utilizar.

1.5.3.1. Requisitos indispensables para el manejo y colocación del concreto

- Todo el concreto debe ser fundido o colado en horas de luz diurna, así como su colocación en cualquier parte de la obra.
- Siempre que sea posible, el concreto debe ser descargado verticalmente dentro de las formaletas, para reducir al mínimo la segregación.
- El concreto debe depositarse en seco y no exponerse a la acción del agua, antes de su fraguado final.
- Toda fundición o colado debe completarse en una operación continua, sin interrupciones mayores a 45 minutos entre la colocación de porciones contiguas de concreto, cada capa debe ser colocada y consolidada antes

de que la precedente haya alcanzado su fraguado inicial, para evitar la formación de una junta de construcción no prevista.

- Durante e inmediatamente después de la colocación del concreto en las formaletas, este debe ser consolidado o compactado, preferiblemente con vibradores mecánicos del tipo de inmersión.
- Limitaciones para fundiciones en clima cálido o frío. En climas cálidos, la fundición o vaciado del concreto puede ser limitada por la temperatura del concreto en el momento de la colocación del mismo. El contratista debe despachar el concreto a la temperatura más baja posible, sin que ésta exceda los 26 grados Celsius para concreto que se colocará en superestructuras ni los 32 grados Celsius para otros elementos.
- En lugares de clima frío, la temperatura mínima del concreto despachado a la obra debe ser de 16 grados Celsius cuando vaya a ser colocado en formaletas o encofrados de poco espesor.

1.5.3.2. Formaleta

Debe soportar la presión que ejerce el concreto en su estado fresco, también es conveniente que esta sea de tal manera que pueda agilizar los trabajos y sea de bajo costo, algunos constructores con experiencia, optan utilizar formaleta metálica (costanera para los tramos rectos y lámina para los curvos), puesto que son de fácil colocación y se pueden reutilizar varias veces, siempre y cuando tengan su debido tratamiento.

1.5.3.3. Juntas

Son la solución para los esfuerzos por deformación térmica, ya que evitan la restricción de la dilatación del concreto, se habla con más profundidad de este tema en los siguientes capítulos, pero como una referencia se sabe que según las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes, Dirección General de Caminos, si el bordillo es construido *in situ*, debe tener juntas de dilatación cada 10 metros como máximo y de un espesor máximo de 15 milímetros.

En el caso de ser construido con equipo especial, solamente se deben de requerir ranuras del espesor indicado anteriormente, cada 2 metros y en la parte superior del mismo. Cuando el bordillo se construye adyacente o con un pavimento de concreto hidráulico las juntas de dilatación deben coincidir con las del pavimento.

1.6. Investigación de campo de bordillos

Se observó el periférico del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se realizó un sondeo visual de los bordillos que forman parte de esta carretera, pudiendo constatar los siguientes efectos.

Figura 2. **Grietas por contracción**



Fuente: carretera que compone el periférico universitario en el *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 3. **Grietas por dilatación**



Fuente: carretera que compone el periférico universitario en el *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 4. **Desgaste por abrasión**



Fuente: carretera que compone el periférico universitario en el *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En la mayoría de las grietas observadas se encuentra un patrón aproximadamente de 3 metros de separación entre grieta.

Figura 5. **Separación entre grieta**



Fuente: carretera que compone el periférico universitario en el *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Las grietas se dan aproximadamente 15 centímetros de donde se encuentra la junta.

Figura 6. Separación entre grieta 2



Fuente: carretera que compone el periférico universitario en el *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Las juntas son inexistentes como se puede observar en la siguiente figura, puesto que muestra que el repello de los bordillos se ha caído por los efectos ambientales, dejando descubierto que las juntas solo están marcadas y no funcionan como la teoría lo indica, verdaderamente separando los elementos para evitar los esfuerzos térmicos.

Figura 7. Junta de dilatación



Fuente: carretera que compone el periférico universitario en el *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En los bordillos anteriores a la repavimentación de la carretera se puede mostrar un deterioro por el paso del tiempo y la abrasión provocada por los vehículos, y no así por parte de los esfuerzos térmicos, esto debido a que las juntas están espaciadas adecuadamente y si existen.

Figura 8. **Bordillos ya existentes**



Fuente: carretera que compone el periférico universitario en el *campus* central de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A pesar de no realizar la junta de dilatación en estos bordillos no se tomaron en cuenta las especificaciones dadas por la Dirección General de Caminos, puesto que se encuentran las supuestas juntas, espaciadas hasta los 87,5 metros, tomando en cuenta que las especificaciones marcan una separación entre juntas máxima de 10 metros.

2. ESFUERZOS Y DEFORMACIONES DE ORIGEN TÉRMICO

Las cargas externas no son las únicas fuentes de esfuerzos y deformaciones en una estructura. Otras fuentes incluyen los efectos térmicos que se originan por los cambios de temperatura, desajustes que resultan de imperfecciones en la construcción, deformaciones previas que se producen por deformaciones iniciales.

Los efectos térmicos, desajustes y deformaciones previas por lo común se encuentran en sistemas mecánicos como estructurales. Estos efectos son mucho más importantes en el diseño de estructuras estáticamente indeterminadas que en las estáticamente determinadas.

Los materiales se contraen al enfriarse y se dilatan al calentarse, en forma lineal:

$$\delta = \alpha \times L \times \Delta T$$

Donde:

δ = deformación térmica

α = Coeficiente de Dilatación Térmica (CDT)

L = longitud inicial

ΔT = cambio de temperatura

Si no se impide la deformación debido a la temperatura, como ocurre en los sistemas estáticamente determinados, no aparecerán esfuerzos en la estructura. Pero en muchos casos es imposible evitar deformaciones térmicas,

puesto que los sistemas están total o parcialmente restringidos. Como resultado de esto aparecen fuerzas internas que contrarrestan, también parcial o totalmente estas deformaciones. Los esfuerzos originados por estas fuerzas internas se llaman esfuerzos térmicos, o esfuerzos de origen térmico.

2.1. Cambios de temperatura en el concreto durante la vida de servicio

El concreto de cemento hidráulico es actualmente uno de los principales materiales de construcción en Guatemala y se ha convertido en el material de ingeniería más utilizado, por varias razones:

- Posee resistencia al agua.
- Los elementos de concreto pueden tener una variedad de formas y tamaños.
- El concreto es generalmente el material más barato y más fácilmente disponible en el sitio de trabajo.
- Es un excelente protector del acero estructural y muchas más ventajas que el constructor encuentra en su uso.

Por otro lado, mientras que los diseñadores de estructuras de concreto se han interesado más en las características de resistencia de los materiales, las reacciones químicas entre el concreto y el ambiente circundante no pueden ser ignoradas, puesto que en estos efectos depende la durabilidad de la estructura de concreto.

El concreto se ve afectado claramente por la temperatura, ya sea por la que es sometida en el ambiente, o la que se produce durante el proceso de hidratación del cemento. Lo cierto es que la temperatura es un factor importante

en la variabilidad del volumen del concreto durante su vida de servicio. Por lo cual se puede decir que, el concreto aumenta su volumen a medida que la temperatura aumenta y por el contrario disminuye su volumen a medida que la temperatura disminuye. Esto es a lo que se llama dilatación y contracción del concreto, respectivamente.

La dilatación y contracción térmica del concreto varía, además de la temperatura en función de factores tales como el tipo de agregado, la relación agua-cemento, la edad del concreto y la humedad relativa. Siendo uno de los factores más importantes el tipo de agregado.

2.2. Coeficiente de Dilatación Térmica (CDT)

La posición de los átomos en la materia cambia con la variación de la energía almacenada, como resultado, la materia por lo general se expande cuando se calienta y se contrae cuando se enfría, esta respuesta al cambio de temperatura se denomina Coeficiente de Dilatación Térmica (CDT). El CDT es una medida de la dilatación o contracción de un material con el cambio de temperatura ambiental. Debido a que el cambio de longitud es pequeño, el CDT se expresa generalmente en micro deformaciones por grado Celsius.

El CDT de Cemento Portland (PCC) oscila entre 8-12 micro deformaciones dividido grados Celsius. La siguiente tabla muestra el rango típico de Coeficiente de Dilatación Térmica según el Departamento de Servicios Federal, Administración de Carreteras EE.UU. Dado que más de la mitad del volumen de concreto es agregado grueso. El principal factor de influencia en el CDT del concreto parece ser el tipo de agregado grueso.

Tabla III. Rangos típicos de CDT de los componentes más comunes del concreto de cemento hidráulico

	Coefficiente de Dilatación Térmica
Agregado	$\mu\epsilon / ^\circ\text{C}$
Granito	7-9
Basalto	6-8
Caliza	6-8
Dolomita	7-10
Arenisca	11-12
Cuarcita	11-13
Mármol	4-7
Andesita	9.2
Agregado reciclado	11.6
Pasta de cemento (saturado)	
$w / c = 0,4$	18-20
$w / c = 0,5$	18-20
$w / c = 0,6$	18-20
Acero	11-12

Fuente: AL-OSTAZ, Ahmed. *Effect of moisture content on the coefficient of thermal expansion of concrete*, p. 7. <http://ntl.bts.gov/>. Consulta: 25 de agosto de 2013.

2.2.1. CDT teórico

Los CDT determinados por la investigación *Experimental measurement of concrete thermal expansion*, Sungchul Yang, Namho KIM, Jincheol KIM y Jongwo Park, p. 1041-1043. Departamento de Arquitectura e Ingeniería, Universidad de Hongik, Chungnam, S. Korea, muestran amplia información de las características del concreto estudiado en la misma, lo que proporciona una base teórica para tener un mejor criterio de selección, cuando se tiene datos experimentales del comportamiento térmico del concreto que se está fabricando

para determinado trabajo. Es por ello que a continuación se muestra esta información.

- Cemento hidráulico: cemento Portland tipo 1, según la Norma ASTM C150.

Tabla IV. **CDT teóricos**

Tipo de Concreto	CDT ($\mu\epsilon / ^\circ\text{C}$)
Concreto con Granito	10,73
Concreto con Andesita	10,52
Concreto con Arenisca	9,76

Fuente: NAMHO, Sungchul Yang. *Experimental measurement of concrete thermal expansion*, KIM, Jincheol KIM y Jongwo Park, p. 1041-1043. <http://www.easts.info>. Consulta 3 de agosto 2013.

CDT es uno de los factores más importantes que se deben de considerar en el diseño de bordillos. Los valores indicados en la tabla anterior no son universales. El valor exacto debe obtenerse en un diseño específico de bordillos, puesto que no se puede predecir el movimiento del potencial inducido por el cambio de temperatura.

Muchos manuales de diseño para la construcción de carreteras han recomendado valores de CDT para el diseño de estructuras en carreteras. AASHTO recomienda un CDT de 11 microdeformaciones por grado Celsius. La recomendación AASHTO no toma en cuenta las variaciones en los diferentes materiales de la zona que varían en cuanto a las regiones. Es obvio que el CDT de una mezcla de concreto depende de los factores como agregado, la humedad, la pasta de cemento, y las condiciones ambientales tales como las fluctuaciones de temperatura.

2.3. Métodos para determinar el CDT

La Administración Federal de Carreteras, El Departamento de Transporte de los EE.UU, ha desarrollado una norma para la determinación del valor de CDT para el concreto de cemento hidráulico. El método que desarrollaron fue adoptado por AASHTO y nombrado como TP60-00. El método permite determinar el CDT de especímenes cilíndricos de concreto que se mantienen en una condición saturada, midiendo el cambio de longitud de la muestra en un rango de temperatura especificado de 10 a 50 grados Celsius.

Las mediciones de longitud se hacen usando traductores de desplazamiento lineal con voltaje (LVDT), con correcciones realizadas por la contracción del marco de ensayo. AASHTO TP60-00 ha sido por mucho, el método más fiable para determinar la CDT de concreto. Otro método para determinar el CDT del concreto es la Técnica Calibrador de Tensiones. En este método, un calibrador de tensión se adapta a la muestra.

La temperatura y humedad son variados, tomando las medidas para calcular el CDT. Por último los daneses han desarrollado un método de cálculo del CDT de concreto llamado Danish Method TI-B 101. Se compone de prismas 100 x 100 x 400 milímetros fundidos con discos colocados al lado registrando los cambios de longitud con variaciones de temperatura de 5 a 30 grados Celsius.

Aunque existan varios métodos el que se utiliza para el objeto de este trabajo, es la referencia de la Norma AASHTO TP 60-00 que puede visualizarse en los anexos.

2.4. Algunos otros factores pueden tener una influencia en CDT

Estos están directamente relacionados con las condiciones propias del elemento, hablando del origen de los materiales que los constituyen y las condiciones medioambientales en las que está sometido.

2.4.1. La humedad en el concreto

Se habla solamente de la pasta de cemento hidratado, el CDT está determinado por las condiciones de humedad. Cuando la muestra está en un estado seco o saturado, el CDT es menor que en una condición parcialmente saturado. Según Neville (Neville, A. M. *Properties of Concrete*. John Wiley and Sons, New York, New, 1997.), el CDT de la pasta joven alcanza el máximo cuando la humedad relativa es de aproximadamente 70 por ciento. Neville también afirmó que el concreto debe seguir una tendencia similar.

A pesar de lo indicado anteriormente se ha demostrado en varios ensayos, que la humedad de la probeta no es un factor determinante para el CDT del concreto.

2.4.2. Influencia del tipo de agregado

Las propiedades de los agregados juegan un papel significativo en el rendimiento de concreto. Es por ello que también el CDT del concreto está influido por el tipo de agregado. Cuanto mayor sea el CDT del agregado más alto es el CDT del concreto, pero esta relación también depende de la cantidad de tales agregados en las proporciones de la mezcla. Se ha sugerido que si los coeficientes de los agregados y el de la pasta de cemento difieren demasiado, un gran cambio en la temperatura puede inducir a una rotura en su vínculo.

Esto es porque el agregado compone 70-75 por ciento del volumen de sólidos total de la mezcla.

2.4.3. Efecto de las propiedades mecánicas del concreto en el CDT

En los Informes Técnicos del Departamento de Ingeniería Civil e Ingeniería Ambiental, de la Universidad del Estado de Louisiana, *Determination of Coefficient of Thermal Expansion Effects on Louisiana's PCC Pavement Design* muestran que los ensayos de propiedades mecánicas de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson (ASTM C469), resistencia a la flexión (ASTM C78), y la prueba de tracción indirecta (ASTM C496). No presenta ninguna relación con el CDT.

2.5. Juntas en el concreto

Los cambios de temperatura, como se ha mencionado, causan dilatación o contracción en el concreto, pero lo más crítico de este comportamiento mecánico es la aparición de fisuras que son provocadas por esfuerzos, al no poder contraerse o dilatarse libremente, debido a los tipos de restricciones que poseen los elementos, ya sea por una estructura conexas, que en el caso de los bordillos se refiere a la carretera, banquetas y los bordillos contiguos, o restricción por fricción (rozamiento) con el terreno.

Las juntas son utilizadas para el control de las fisuras, ya que permiten el movimiento libre del concreto, ya sea por la acción de contracción o retracción. Se puede decir que las juntas son grietas planificadas previamente.

Con un CDT adecuado y el conocimiento del cambio de temperatura a la que estará sometida la estructura, es posible calcular la deformación térmica máxima que esta tendrá, y así poder calcular de buena forma el espacio que debe existir entre la estructura diseñada y sus restricciones.

2.5.1. Tipos de juntas

Las juntas son diversas en cuanto a su uso. Se pueden mencionar juntas para liberar energía en forma de dilatación o contracción y asimismo, para poder distinguir entre una fundición y otra, evitando las juntas frías donde corresponde una junta de construcción.

2.5.1.1. Juntas de contracción

Las juntas se insertan mediante el uso de un ranurador para crear un plano de debilidad que oculta el lugar donde ocurrirá la grieta por contracción.

Para que sea efectiva, la junta debe ser ranurada de $1/4$ a $1/3$ de la profundidad del concreto. Así pues se pretende crear planos débiles en el concreto y regular la ubicación de grietas que se formaran como resultado de cambios dimensionales.

Figura 9. **Junta de contracción**



Fuente: MAGUIÑA ALZAMORA, Jose Eloy. *Juntas en el concreto*.

<http://civilgeeks.com/2012/03/27/juntas-en-el-concreto/>.

Consulta: 3 de febrero 2013.

El otro método consiste en aserrar la junta, es más caro pero, presenta las ventajas de juntas con mayor durabilidad, con bordes más duraderos y una buena regularidad. El corte con sierra debe realizarse tan pronto como sea posible, sin que se dañen los bordes del concreto. No debería demorarse más de 6 horas después de colocado el concreto.

La separación de las juntas de contracción depende de factores, tales como el espesor de la losa y el rozamiento existente con la capa de base.

La experiencia práctica aconseja para losas de 10 centímetros de espesor una separación de 2,5 metros, para 15 centímetros una separación de 3,50 metros y para 20 centímetros una separación máxima de 4,5.

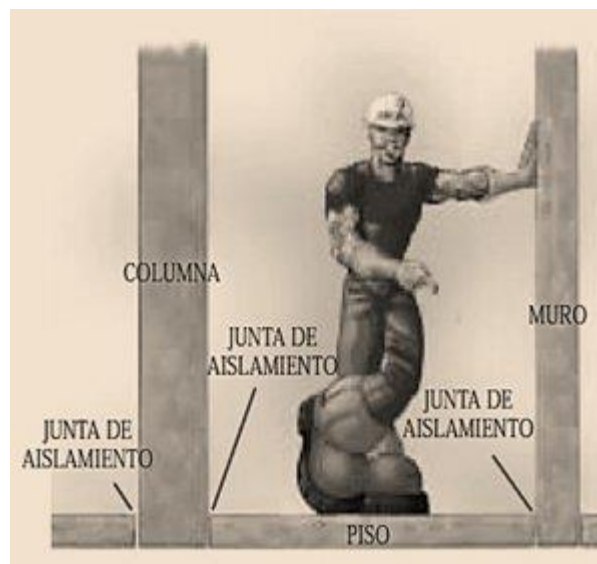
2.5.1.2. Juntas de aislamiento o dilatación

Estas permiten los movimientos independientes verticales y horizontales entre las partes adjuntas de la estructura y ayudan a minimizar las grietas cuando estos movimientos son restringidos.

Estas juntas son especialmente utilizadas para evitar los esfuerzos por deformación térmica, que sufren las estructuras de concreto al calentarse.

Como ya se mencionó con anterioridad esta es la junta destinada para el diseño de los bordillos, por lo que el Libro Azul indica que el tamaño de esta junta debe ser de 15 milímetros a cada 10 metros.

Figura 10. Junta de dilatación



Fuente: MAGUIÑA ALZAMORA, Jose Eloy. *Juntas en el concreto*.

<http://civilgeeks.com/2012/03/27/juntas-en-el-concreto/>.

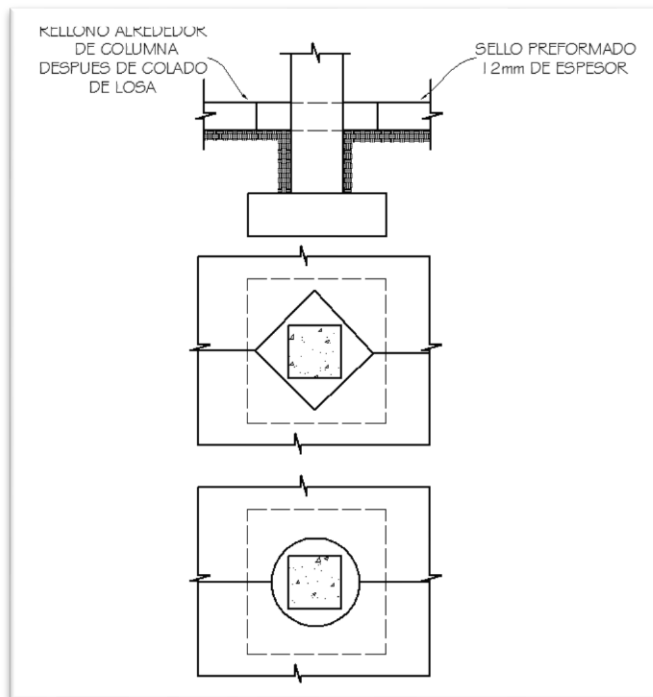
Consulta: febrero 2013.

2.5.1.3. Juntas de construcción

Son superficies donde se encuentran dos vaciados (vertidos) sucesivos de concreto. Estas se realizan por lo general al final del día de trabajo, pero pueden ser requeridas cuando el vaciado del concreto se paralice por un tiempo mayor al de fraguado inicial del concreto.

La ubicación de las juntas de construcción debe ser planificada. Puede ser deseable lograr la adherencia y la continuidad del refuerzo a través de una junta de construcción.

Figura 11. Junta de construcción



Fuente: elaboración propia.

2.5.2. ¿Por qué se construyen las juntas?

Las grietas en el concreto no se pueden prever completamente, pero pueden ser controladas y minimizadas mediante juntas adecuadamente diseñadas. El concreto se agrieta porque:

- Es frágil frente a cargas de tracción y por lo tanto, si su tendencia natural a retraerse es restringida, pueden desarrollarse esfuerzos de tracción que excedan su resistencia a esta fuerza. Dando como resultado el agrietamiento.
- A edades tempranas, antes de que el concreto se seque, la mayoría de las grietas son causadas por cambios de temperatura o por la ligera contracción que tiene lugar cuando el concreto fragua y endurece. Más tarde, cuando el concreto se seca, él se retraerá adicionalmente y cualquier grieta adicional puede formarse, o las grietas preexistentes pueden hacerse más anchas.

Las juntas atenúan las tensiones de tracción, son fáciles de manejar y son menos objetables que las grietas descontroladas e irregulares.

2.5.3. ¿Cuándo hacer las juntas?

Pueden hacerse en dos momentos diferentes, antes de que el concreto sea colado. Por ejemplo, para juntas de construcción y juntas de aislamiento y después, de que el concreto ha sido colado y compactado, por ejemplo, las juntas de control.

Las juntas se usan para controlar el agrietamiento en el concreto. El agrietamiento al azar puede debilitar el concreto y echar a perder su apariencia.

2.5.4. Agrietamientos aleatorios

El agrietamiento en el concreto es una fuente de deterioro, puesto que da lugar a la filtración de agua en el bordillo hasta llegar a la cimentación de la carretera, provocando un serio daño en la carpeta de rodadura.

Pueden ser debido a las siguientes causas:

- Juntas realizadas tardíamente o sin la profundidad requerida.
- Juntas muy separadas entre sí.
- Aislamientos inadecuados de juntas en columnas, cimientos o paredes.
- Exceso de viento durante la construcción que cause grietas plásticas.
- Un curado deficiente.

3. CONDICIONES AMBIENTALES DEL SUROESTE DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA

El clima es producto de los factores astronómicos, geográficos y meteorológicos, adquiriendo características particulares por la posición geográfica y topografía. La ubicación tropical de Guatemala no permite que se marquen con precisión cuatro estaciones en el año, como en los países situados al norte o al sur de la línea del Ecuador.

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) climáticamente ha zonificado al país en seis regiones perfectamente caracterizadas por el sistema de Thorntwaite.

- Las planicies del norte
- Franja transversal del norte
- Meseta y altiplanos
- La bocacosta
- Planicie costera del Pacífico
- Zona oriental

3.1. Ciudad de Guatemala

Se encuentra en la zona de la meseta y altiplanos. Que además comprende la mayor parte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango Totonicapán, Sololá, Chimaltenango, sectores de Jalapa y las Verapaces.

3.1.1. Clima

Por pertenecer a la zona de la meseta central y altiplanos, las montañas definen mucha variabilidad con elevaciones mayores o iguales a 1 400 metros sobre el nivel del mar, generando diversidad de microclimas.

Las lluvias no son tan intensas, los registros más altos se obtienen de mayo a octubre, en los meses restantes estas pueden ser mermadas, en cuanto a la temperatura en diversos puntos de esta región se registran los valores más bajos del país.

En esta región existen climas que varían de templados y semifríos con invierno benigno a semicalidos, de carácter húmedos y semisecos con invierno seco. Definiéndose marzo y abril como los meses más cálidos y de forma contraria diciembre y enero.

3.1.2. Geografía

La ciudad de Guatemala está ubicada en el Valle de la Ermita con alturas que varían entre los 1 500 – 1 600 metros sobre el nivel del mar posee temperaturas muy suaves entre los 12 y 28 grados Celsius.

- Altitud: 1 500 msnm
- Latitud: 14° 37' 15" N
- Longitud: 90° 31' 36" O
- Extensión: 996 km²

Para la siguiente recopilación de información se utilizó la estación meteorológica más cercana al suroeste del municipio de Guatemala.

3.2. Temperatura

La estación meteorológica a estudiar es la que se encuentra en el INSIVUMEH 7a. avenida, 14 -57, zona 13, colonia Nueva Aurora, ciudad de Guatemala, Guatemala, altitud: 1 502 metros sobre el nivel del mar

Las temperaturas que se utilizarán en el estudio (para determinar el cambio de temperatura máxima) se muestran en las tablas V,VI y VII.

Tabla V. **Temperatura máxima promedio (°C)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1990	23	24,7	26	27,8	27,1	25,1
1991	24,3	25,3	28,1	28,7	27,4	25,9
1992	24,1	25,5	27,6	27,2	26,5	25,9
1993	24,2	25,7	26,6	27,1	27,6	25,4
1994	23,1	27,5	27,5	N/D	27,4	25,7
1995	24	26,7	28,2	27,5	27,5	26,1
1996	23,7	25,2	25,9	26,9	26,4	26,1
1997	25	25,4	27,1	28,2	27,9	25,6
1998	25,8	27,2	27,2	27,9	29	27,3
1999	23,3	24,6	26,9	28	27,7	24,9
2000	23,4	24,3	26,6	28,1	25,6	27,2
2001	24,2	25,1	24	27,9	26,9	25,8
2002	26,6	25,4	27,3	28,4	27,5	25,8
2003	23,5	26,2	27,5	28,5	27,8	25,8
2004	23,6	25,4	26,3	26,8	26,1	24,9
2005	27	28,7	29,9	28,6	26,9	26,3
2006	24,3	25,4	26,1	27,1	26,6	25
2007	24,4	26,5	25,9	28	27,2	25,9
2008	23,9	25,4	26,1	27,6	27,3	24,5
2009	24,3	25	25,3	27,4	26,5	26,3
2010	24,2	26	27,9	27,7	26,5	25,1
2011	25,1	26,4	25,7	27,7	27,1	26
2012	24,2	25,5	26,6	27,3	27,1	26,2
PROMEDIO	24,31	25,79	26,80	27,75	27,11	25,77

Continuación de la tabla V.

AÑO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	25,1	25,3	25,3	24,9	22,8	23,4
1991	25,3	25,5	25,1	24,5	23,1	22,3
1992	23,9	24,5	24,3	24,1	24,5	23,2
1993	24,7	24,3	24,4	24,4	23,6	23,5
1994	26	25,3	23,9	25,2	25,3	24,1
1995	25,3	25,1	24,2	23,6	24,3	24,1
1996	24,7	25	25,5	24,8	23,5	24,2
1997	25,8	24,3	25,9	25,2	24,6	24,7
1998	25,3	24,8	24	24,6	24,3	24,7
1999	24,1	25,4	23,3	23,8	22,6	22,8
2000	25,9	25,9	24,6	24,4	25,1	23,5
2001	26	26,4	25,3	25,1	24,3	24,9
2002	26,1	26,9	24,8	25,7	25	24,4
2003	25,9	25,8	25,9	24,9	25	****
2004	25,2	26,4	25,9	25,4	24,6	23,8
2005	25,9	26	25,9	23,8	23,7	24,3
2006	25,5	26,3	25,8	26	24,3	24
2007	26,1	25,5	25,5	23,9	24,1	24,7
2008	24,4	25,6	24,9	24,2	23,8	24,6
2009	26,1	25,9	26,8	26,5	25,1	24,6
2010	25,2	24,7	24,6	24,5	24	22,9
2011	25,8	26,2	25,4	24	24,9	23,9
2012	26,2	26,2	25,8	25,8	23,9	25,4
PROMEDIO	25,41	25,53	25,09	24,75	24,19	24,00

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (IN SIVUMEH).

Temperatura máxima del promedio mensual durante 22 años (1990-2012)
= 27,75 °C en el mes de abril.

Tabla VI. **Temperatura mínima promedio (°C)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1990	13,60	13,50	14,40	16,10	17,00	16,70
1991	14,00	13,60	15,00	17,00	17,10	17,00
1992	14,30	14,00	15,50	16,50	16,40	17,30
1993	13,20	13,30	14,10	16,50	16,90	16,70
1994	12,80	14,00	14,00	15,60	16,60	15,80
1995	13,50	13,30	14,20	16,80	16,90	17,20
1996	12,30	13,10	13,60	16,20	16,80	17,00
1997	13,30	14,00	14,70	16,00	16,20	16,70
1998	14,30	13,60	14,50	16,00	16,80	17,60
1999	12,40	12,60	18,00	15,50	16,40	16,40
2000	12,00	12,90	14,50	15,50	16,80	15,20
2001	12,10	13,50	13,20	14,50	16,60	16,00
2002	13,20	14,70	14,10	15,30	16,40	17,10
2003	12,50	13,70	15,20	15,40	17,50	16,60
2004	13,40	13,90	14,80	16,10	16,90	17,20
2005	11,90	13,00	16,00	16,50	16,70	17,00
2006	13,00	12,30	13,30	15,60	16,50	16,70
2007	14,40	13,70	14,90	16,50	17,30	17,00
2008	13,40	14,30	14,20	15,90	16,80	16,10
2009	13,40	13,30	13,30	16,10	15,00	17,00
2010	13,10	15,20	15,30	17,40	18,10	17,80
2011	13,90	14,30	13,70	15,90	16,90	16,70
2012	13,70	14,10	14,00	15,60	17,20	16,40
PROMEDIO	13,20	13,65	14,54	16,02	16,77	16,75
AÑO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	16,40	16,30	16,30	15,90	15,10	14,10
1991	16,30	16,50	16,50	16,00	14,50	14,50
1992	16,30	16,10	16,20	15,80	15,20	13,80
1993	16,00	16,00	15,80	15,90	14,00	12,80
1994	15,70	15,40	15,80	16,00	15,30	14,20

Continuación de la tabla VI.

1995	16,40	16,70	16,50	16,10	14,60	14,30
1996	21,30	15,90	16,70	16,00	14,70	13,40
1997	16,50	16,80	16,80	16,20	16,10	13,90
1998	12,70	17,20	16,40	16,60	15,60	13,80
1999	15,50	16,00	15,90	15,20	13,60	12,60
2000	16,00	16,30	16,30	15,20	15,30	13,30
2001	16,40	16,80	16,50	15,80	13,60	14,20
2002	15,00	16,10	16,10	15,80	14,20	14,20
2003	16,90	17,20	16,90	16,80	15,10	12,50
2004	15,90	17,00	16,80	16,50	14,40	13,40
2005	16,30	16,30	16,20	15,90	13,70	13,60
2006	16,50	16,60	16,50	16,60	14,60	15,00
2007	17,00	16,70	16,40	15,90	14,30	13,60
2008	15,60	16,10	16,20	15,30	16,20	13,20
2009	16,90	16,70	17,60	17,30	15,40	14,50
2010	17,30	17,20	17,00	15,40	14,50	12,10
2011	16,70	16,80	16,40	11,40	14,40	13,40
2012	16,40	16,30	18,20	15,70	13,10	13,20
PROMEDIO	16,35	16,48	16,52	15,80	14,67	13,63

Fuente: elaboración propia.

Temperatura mínima del promedio mensual durante 22 años (1990-2012)
= 13,20 °C en el mes de enero.

Tabla VII. **Temperatura promedio (°C)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1990	17,6	18,2	19,2	20,6	21,4	20,6
1991	18,4	18,8	21	21,8	21,5	20,6
1992	18,8	19,1	20,6	20,7	20,7	20,4
1993	18,4	18,7	19,7	21,2	21,8	20,4
1994	17,5	18,8	19,5	20,5	20,8	19,7
1995	18	19,4	20,5	19,4	21,5	20,6
1996	17	18,2	18,9	20,8	20,5	20,1
1997	15,5	19,4	20,5	21,6	20,7	20,5
1998	19,8	20,3	20,7	22,2	22,5	20,3
1999	17,4	17,3	19,6	20,9	20,7	19
2001	16,8	18,1	19,2	20,3	20,4	19,5
2002	17,3	18,6	18,6	19,8	20,3	20,1
2003	16,8	17,8	24,8	20,6	20,7	19,1
2004	18,5	18,6	20,1	20,6	19,7	20,3
2005	17,7	19,3	20,9	20,9	23	22,2
2006	18	20,8	19,3	21,6	20,5	20,1
2007	19,4	19,2	19,1	20,5	21,1	20,5
2008	17,6	18,6	18,6	21,2	20,1	20,2
2009	19	19	19	21,5	21,5	20,8
2010	17,8	19,4	19,5	21,2	20,9	20
2011	19	19,6	19,5	20,9	20,8	20,6
2012	18,3	19,7	20,2	21	21,7	20,5
PROMEDIO	17,94	18,95	19,95	20,90	21,04	20,28
AÑO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	20,4	20,5	20,1	19,8	18,6	18,2
1991	20,3	20,6	20,1	19,6	18,4	17,9
1992	19,7	20	19,6	19,5	19,6	18,2
1993	20,2	19,6	19,7	19,5	18,1	17,5
1994	20	19,4	19,3	20	19,6	18,5

Continuación de la tabla VII.

1995	20,1	20,3	19,4	19	18,7	18,4
1996	19,5	19,9	20	19,8	18,5	18,4
1997	20	20,7	19,3	20	19,9	18,3
1998	20,9	20,8	19,6	21,5	19	18,1
1999	19	19,3	18,4	18,4	17,3	17,8
2001	20,1	19,9	19,2	19	17,3	18,3
2002	21	19,6	18,9	18,5	17,1	17,9
2003	20,3	20	19,7	20,2	19,2	17,5
2004	19,7	20,2	19,3	19,8	18,7	18,2
2005	21,8	21,1	21,2	19,7	18,2	18,4
2006	20,3	20,7	20,2	20,4	18,1	19,2
2007	20,8	20,2	20,1	18,9	18,7	19,2
2008	19,8	25,6	19,6	19,5	18,6	17,9
2009	21,2	21	20,7	20,5	18,9	19,4
2010	20,3	19,8	19,7	18,9	18,4	16,5
2011	20,5	20,4	19,9	19,3	19,5	18,5
2012	21,2	20,9	20,7	20,7	18,6	19,4
PROMEDIO	20,32	20,48	19,76	19,66	18,59	18,26

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

El promedio de la temperatura promedio de enero durante 22 años (1990-2012) = 17,94 °C.

El promedio de la temperatura promedio de abril durante 22 años (1990-2012) = 20,90 °C.

Según las isotermas (mapas mostrados en los anexos) representativas de temperatura del período 1928-2003 para la región suroeste del municipio de Guatemala corresponde:

- Temperatura mínima absoluta anual de 5°C.
- Temperatura máxima absoluta anual de 34°C.
- Temperatura máxima promedio anual 25°C.
- Temperatura mínima promedio anual de 15°C.

3.3. Humedad relativa promedio

La estación meteorológica a estudiar es la que se encuentra en el INSIVUMEH 7a. avenida, 14 -57, zona 13, colonia Nueva Aurora, ciudad de Guatemala, Guatemala, altitud: 1 502 metros sobre el nivel del mar.

Tabla VIII. **Porcentaje de humedad relativa promedio**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1990	78	77	76	77	81	83
1991	78	74	71	78	81	85
1992	75	76	77	78	79	87
1993	75	75	74	78	80	86
1994	80	75	75	78	82	83
1995	76	76	77	81	8	88
1996	71	77	77	77	83	87
1997	77	76	75	77	77	82
1998	79	76	74	73	77	80
1999	81	79	78	79	8	90
2000	68	64	70	68	79	79
2001	76	72	71	68	69	74
2002	70	67	68	67	77	80
2003	73	74	73	74	81	84
2004	71	73	71	70	75	77

Continuación de la tabla VII.

2005	67	66	73	69	75	85
2006	70	69	70	N/D	63	80
2007	69	73	74	75	77	81
2008	74	67	67	66	73	79
2009	77	73	71	71	76	80
2010	75	78	77	84	84	87
2011	75	79	72	73	73	76
2012	78	72	70	73	79	81
PROMEDIO	74,48	73,39	73,09	74,27	71,17	82,35
AÑO	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	81	79	84	80	82	78
1991	79	80	82	83	82	81
1992	83	78	85	83	82	81
1993	80	85	85	88	82	79
1994	80	86	86	85	82	82
1995	86	89	92	88	83	84
1996	86	83	88	86	82	77
1997	79	81	88	86	87	81
1998	88	88	90	84	86	79
1999	85	87	87	90	87	69
2000	74	78	82	78	77	73
2001	74	74	79	73	72	71
2002	78	80	85	81	80	78
2003	81	76	83	81	76	69
2004	78	74	83	76	72	71
2005	82	80	81	80	77	71
2006	77	72	79	81	75	73
2007	80	85	84	84	78	71
2008	77	75	80	77	80	80
2009	79	81	86	81	80	79
2010	94	89	86	79	69	74
2011	77	81	84	80	73	72
2012	75	80	80	79	75	73
PROMEDIO	80,57	80,91	84,30	81,87	79,09	75,91

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

La humedad relativa promedio de enero durante 22 años (1990-2012) = 74,48 %.

La humedad relativa promedio de abril durante 22 años (1990-2012) = 74,27 %.

Según las isohigras (mapas mostrados en los anexos) representativas de la humedad relativa promedio anual del período 1928-2002 para la región suroeste del municipio de Guatemala corresponde:

Humedad relativa promedio anual de 75 %.

4. MÉTODO DE ENSAYO

Todo el proceso descrito a continuación es una propuesta planteada por el autor, puesto que el mismo no se pudo seguir conforme a la norma designada específicamente para la realización de este ensayo, la que ya ha sido descrita con anterioridad.

4.1. Alcance

Este método de ensayo cubre la determinación del Coeficiente de Dilatación Térmica (CDT) de los núcleos o cilindros de concreto de cemento hidráulico. Puesto que es conocido que el grado de saturación del concreto es una influencia en la medida del Coeficiente de Dilatación Térmica. Las condiciones de humedad del espécimen de concreto deberán ser controladas. Por esto en el procedimiento de ensayo el espécimen deberá estar en una condición saturada.

4.2. Resumen del método

Este método determina el CDT de un espécimen de concreto cilíndrico manteniéndolo en condición saturada, midiendo el cambio de longitud que sufre el espécimen hecho por un cambio específico de temperatura. El CDT es calculado dividiendo los cambios de longitud por los cambios de temperatura.

4.3. Equipo

El equipo utilizado es restringido respecto a las posibilidades económicas que posee el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), haciendo necesario la sustitución de equipo requerido por la norma por el que se dispone.

- Sierra de concreto: capaz de aserrar los extremos de una muestra cilíndrica perpendicular al eje y con cortes paralelos entre sí.
- Cronómetro.
- Balanza: con una capacidad de 20 kilogramos y una precisión de 0,1 por ciento sobre su rango.
- Vernier: capaz de medir la longitud del espécimen lo más cercano a 0,1 milímetro.
- Baño de agua: que proporcione un control de la temperatura por medio de un microprocesador hasta 82 grados Celsius con una exactitud de $\pm 0,1$ por ciento, este también incluye un agitador magnético que asegura que la temperatura sea constante en todo el baño.
- Dispositivo de medición de temperatura: que es utilizado para medir la temperatura en el concreto fresco con una resolución de 0,1 grados Celsius.
- Deformímetro: análogo capaz medir la deformación per medio de un dial que entra en contacto con la probeta, el mismo tiene una precisión de 0,00254 milímetros (0,0001 in).

4.4. Espécimen de ensayo

Este consistió en un núcleo cilíndrico con diámetro nominal correspondiente al diámetro interno de la tubería para drenajes PVC SDR-35 de 4 pulgadas (10,160 cm), lo que corresponde a 10,084 centímetros, con una altura nominal de 17 centímetros a causa del tamaño del baño de agua a utilizar.

4.5. Procedimiento

El espécimen deberá ser condicionado por sumersión en agua de cal saturada por un tiempo de 25 minutos hasta que la probeta alcance un peso del 100,5 por ciento del peso tomado antes de sumergir la probeta.

4.5.1. Procedimiento de la prueba

Uno de los parámetros que se toma en cuenta para distinguir que son de concreto utilizado en la construcción de bordillos, es la resistencia a compresión, por lo que una vez alcanzada la resistencia deseada se procede a la prueba.

- Se preparará todo el equipo necesario para empezar la prueba, comenzando por el baño de agua, colocando el agua necesaria y verificando que el medidor digital de temperatura propio del baño este en grados Celsius. Se debe utilizar un soporte contiguo al baño, esencialmente de material ferroso para que las patas donde se coloca el deformímetro pueda imantarse con este material y así mantenerse fijo en la posición deseada, pudiendo medir la deformación de la probeta. Esto es importante, ya que de esta manera se evitara parte de las

vibraciones proporcionadas por el baño de agua en el momento que asciende la temperatura.

- Se ubica la posición donde el agitador magnético estará para mantener la temperatura uniforme en todo el baño de agua.
- Se prepara un recipiente con agua y cal saturada, para poder dejar la probeta en condiciones de ensayo, lo que se hace necesario a su vez tener a la mano la balanza para tomar el peso de la probeta antes de la sumersión.
- Al haber tomado el peso de la probeta se procede a sumergirla durante 25 minutos en agua, se recomienda antes de que alcance este tiempo estar pesando la probeta desde los 15 minutos de haberla sumergido, esto para asegurarse de no pasarse del peso requerido de la misma, cuando se saque la probeta del tanque de sumersión, se debe limpiar con una toalla para eliminar los excesos de agua en la muestra.
- Se procede a sumergir la muestra en el tanque del baño de agua procurando que el dial se posicione en el centro de la probeta. Se coloca el termómetro ajustándolo en las paredes del baño, procurando que la parte sensible quede a la altura de la mitad de la probeta, se cubre en la medida de lo posible el baño para que no se escape el vapor, y se procede a tomar el dato que representará el cero en el deformímetro la temperatura del agua y se inicia el cronómetro.
- Durante 60 minutos se deja estabilizar la probeta a la temperatura del agua tomando la medición del deformímetro y el termómetro cada 10 minutos.

- Al alcanzar el tiempo de 60 minutos se procede a elevar la temperatura del baño de agua cada 3 grados Celsius (sabiendo que la temperatura en el baño de agua será 3 grados Celsius menor que la mostrada en el indicador digital, esto porque no se puede sellar totalmente el baño de agua), encender el agitador magnético hasta alcanzar aproximadamente 30 grados Celsius, al llegar a esta temperatura se aumentará la misma cada 6 grados Celsius hasta alcanzar los 50, en el transcurso de ascenso de temperatura, se toman las deformaciones y la temperatura respectiva a la misma.

Cada vez que se aumenta la temperatura, el baño de agua vibrará para alcanzar la temperatura requerida, por lo que el deformímetro registrará lecturas erróneas al principio de la temperatura, hasta que el baño de agua llega a un punto en el que deja de vibrar y solo hace que aumente la temperatura del baño.

Se deberá tener especial cuidado con las lecturas tomadas en el deformímetro. La forma correcta de hacerlo es estar al pendiente del movimiento de la aguja cuando esta ya no presente movimiento por las vibraciones, aproximadamente por 1 minutos, se debe tomar la lectura del deformímetro y la temperatura como un cero, comenzando luego a medir la deformación desde este punto, lo que provoca una pérdida de lecturas iniciales en cada aumento de temperatura que se le requiere al baño de agua, estas no son significativas, por lo que en los cálculos se explicará la manera de manejar estos datos para que las deformaciones sean tomadas como una sola durante todo el proceso, esto durara aproximadamente 3 horas.

- Al alcanzar la temperatura de 50 grados Celsius, se toma la última lectura del deformímetro y el termómetro.
- Se espera que la probeta se estabilice durante 60 minutos, tomando mediciones cada 10 minutos.
- Cuando se estabilice la probeta se procede al descenso de la temperatura apagando el baño de agua. Se espera a que el agua se estabilice con la temperatura medio ambiental. Este proceso es bastante tardado por lo que hay que tomar en consideración este largo tiempo, aproximadamente de 4 horas. Ya que si el día y las posibilidades del ensayo no son flexibles se tiene que tomar la última lectura hasta el día siguiente.

4.6. Cálculos

La lectura obtenida en el deformímetro se multiplica por su precisión (0,0001 in) y luego transformar esta medida a metros.

Hay que tomar en cuenta que se tienen deformaciones independientes que corresponden al ascenso de temperatura requeridos al baño de agua, puesto que las vibraciones al inicio hacen que se pierdan las lecturas de referencia, por lo que cada deformación después de la zona de vibración depende del aumento de temperatura que se realizó, y no de la temperatura anterior al momento en que el baño de agua vibra. Es por ello que se necesita realizar un vínculo lineal entre la lectura anterior a la zona de vibración y el siguiente cero de referencia en cuanto a temperatura y deformación.

Además de realizar una linealidad es necesario unir todas las deformaciones para que estas se conviertan en deformaciones absolutas y no dependientes de cada aumento de temperatura.

Tabla IX. **Mediciones tomadas**

	TEMPERATURA (°C)	Deformación (m)	Deformación total sin vibración (m)
	t_i	D_i	D_i
	t_i	D_i	D_i
	t_1	D_1	D_1
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	t_2	0	D_2
	t_i	D_i	D_0
	t_i	D_i	D_0
	t_1	D_i	$D_0 (D_1)$
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	t_2	D_2	D_2

Fuente: elaboración propia.

La tabla VI, se obtuvo en base a las mediciones. Se necesita obtener la deformación total sin vibración.

Donde:

t_i = temperaturas en aumento en el rango sin vibración.

D_i = deformaciones dependientes del cero de referencia (después de la zona de vibración).

T_1 = temperatura final, antes del siguiente aumento de temperatura.

D_1 = deformación final, antes del siguiente aumento de temperatura.

T_2 = temperatura inicial después de la zona de vibración.

D_2 = deformación encontrada por linealidad, que supone el cambio de longitud que la probeta alcanza en la zona de vibración, hasta la siguiente lectura.

$$D_2 = (D_1 \times t_2) / t_1$$

D_o = deformación total

$$D_o = D_2 + D_1$$

$D_o (D_1)$ = sigue siendo D_o pero para la siguiente linealidad se toma como D_1

En el descenso de temperatura se procede a restar la contracción que se da desde la deformación total en la última temperatura tomada.

4.7. Calculando el CDT

En una hoja de cálculo de Microsoft Excel se grafican los datos de temperatura y deformación, para expresar de forma coherente estos datos deberán ser multiplicados por 10 000, para poder utilizar estos valores en notación científica de 1×10^{-4} . Se debe tomar en cuenta que el eje vertical corresponda a la deformación en escala logarítmica de base 10, para poder tener una mejor visualización del comportamiento, y el horizontal corresponde a la temperatura.

Se divide la gráfica en tres segmentos críticos, de la temperatura ambiente hasta 27,5 grados Celsius de esta temperatura hasta 38,5 grados Celsius y de esta hasta 49,5 grados Celsius, considerando que el primer dato y el último no se deben tomar en cuenta para el análisis.

Al tener estas divisiones se trazan líneas que representen la curvatura promedio de estos segmentos. A estas líneas se les debe encontrar la pendiente para poder obtener el CDT.

La pendiente de estas gráficas estarán representadas con notación científica 1×10^{-4} , por lo que deberá ser regresado a notación decimal. Habiendo hecho esto, los tres valores conseguidos de las pendientes, deberán ser divididos entre la longitud inicial de la probeta y colocar el resultado en notación de micro deformaciones por grado Celsius.

$$\text{CDT} = m/L_0$$

Donde:

m = es la pendiente de la línea promedio a los segmentos de la curva

L_0 = longitud inicial de la probeta

Cuando se haya encontrado el CDT correspondiente a cada uno de los segmentos críticos de la gráfica, es necesario realizar una corrección, puesto que el apoyo de la probeta en el baño es de aluminio, la que también sufre cambios por temperatura, es por ello que al CDT encontrado se le resta el CDT correspondiente al aluminio.

Al tener los CDT corregidos se proceda a realizar un promedio de estos valores, encontrando así el valor final del CDT.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados muestran las diferencias en las condiciones de ensayo de las pruebas realizadas a los concretos en el extranjero y las condiciones que se presentan para los concretos en Guatemala, a continuación se describen tales condiciones.

- Día de la prueba 28 de noviembre de 2013
- Temperatura: mínima 13 °C
- Identificación: espécimen único
- Tipo de espécimen
 - Núcleo de concreto de cemento Portland Modificado con Puzolana bajo la Norma ASTM C-595. Alta resistencia inicial. Utilizado en la construcción de bordillos.
 - $f'c$ promedio = 177,3 kg/cm²
- Dimensiones de espécimen
 - $L_0 = 0,1751$ m ; diámetro promedio = 11 cm
- Peso en estado seco = 3,54 kg
- Peso después de sumersión = 3,56 kg
- Proporciones de la mezcla y tipo de agregado
 - Cantidad de materiales a utilizar para un volumen de concreto de 0,04134 metros cúbicos.

Tabla X. **Dosificación de la mezcla**

Materiales	Unidad	Cantidad
Cemento	kg	13
Agregado fino	kg	39
Agregado grueso	kg	40
Agua	lt	9
Proporción en peso	1 : 3 : 3,08 : 0,69	

Fuente: elaboración propia.

Las características físicas del agregado fino y grueso, se muestran en los informes ver anexos (figura 11 y 12).

Las características petrográficas según bibliografía referencia 2, puesto que el origen de los agregados es el mismo que en dicha investigación, son:

- Tipo: rocas ígneas
- Subtipo: extrusiva (volcánica)
- Color: gris –gris claro
- Textura: afanítica y porfídica
- Estructura: no presente
- Nombre: andesita

Las lecturas tomadas durante la prueba se muestran en las tablas XI, XII, XII y XIV con sus respectivas gráficas en la figuras 12 y 13.

- Precisión del deformímetro = 0,0001 in = 0,0025 mm

Tabla XI. **Lecturas del ensayo**

	Tiempo (Horas)	TEMPERATURA (°C)	LECTURA EN DEFORMÍMETRO
ESTABILIZANDO PROBETA	00:10	16	0
	00:22	16	0
	00:33	16	0
	00:40	16	0
	00:58	16	0
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	01:00	16,5	0
	01:03	17,5	2
	01:11	17,77	5
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	01:15	18,33	0
	01:17	18,88	3
	01:20	19	4
	01:30	19,5	5
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	01:35	21	0
	01:49	22	4
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	01:52	23	0

Continuación de la tabla XI.

	01:59	23,5	7
	02:05	23,88	10
	02:13	24,5	11
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	02:16	25,5	0
	02:19	26,22	3
	02:22	26,66	9
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	02:25	27,77	0
	02:28	28,5	7
	02:31	29	14
	02:45	31,5	16
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	02:50	33	0
	02:56	34,5	3
	03:02	35	11
	03:15	37	13
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	03:18	38,5	0
	03:20	40	4
	03:25	40,5	9
	03:29	40,55	12
	03:37	43,33	13
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	03:43	45,5	0
	03:46	46	3
	03:50	46,5	6,5
	03:54	47	8
	03:59	47,22	12,5

Continuación de la tabla XI.

	04:00	48,5	14
	04:03	49,5	16
ESTABILIZANDO PROBETA	04:14	50,55	17
	04:18	50,55	17
	04:26	50,55	17
	04:34	50,55	17
	04:44	50,55	17
	05:14	50,55	17
	DESCENSO DE TEMPERATURA	05:16	49
05:21		46	17
05:25		44	17
05:44		43	17
06:00		42	17
06:06		41	17
06:23		40	17
06:32		38	17
06:45		34	16,5
07:28		32	16,5
07:34		31	16,5
07:44		28	16
23:00		18	13,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Lecturas en metros

	TEMPERATURA (°C)	Deformación (in)	Deformación (m)
ESTABILIZANDO PROBETA	16	0	0,00E+00
	16	0	0,00E+00
	16	0	0,00E+00
	16	0	0,00E+00
	16	0	0,00E+00
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	16,5	0	0,00E+00
	17,5	0,0002	5,08E-06
	17,77	0,0005	1,27E-05
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	18,33	0	0,00E+00
	18,88	0,0003	7,62E-06
	19	0,0004	1,02E-05
	19,5	0,0005	1,27E-05
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	21	0	0,00E+00
	22	0,0004	1,02E-05
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	23	0	0,00E+00
	23,5	0,0007	1,78E-05
	23,88	0,001	2,54E-05
	24,5	0,0011	2,79E-05

Continuación de la tabla XII.

ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	25,5	0	0,00E+00
	26,22	0,0003	7,62E-06
	26,66	0,0009	2,29E-05
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	27,77	0	0,00E+00
	28,5	0,0007	1,78E-05
	29	0,0014	3,56E-05
	31,5	0,0016	4,06E-05
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	33	0	0,00E+00
	34,5	0,0003	7,62E-06
	35	0,0011	2,79E-05
	37	0,0013	3,30E-05
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	38,5	0	0,00E+00
	40	0,0004	1,02E-05
	40,5	0,0009	2,29E-05
	40,55	0,0012	3,05E-05
	43,33	0,0013	3,30E-05
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	45,5	0	0,00E+00
	46	0,0003	7,62E-06
	46,5	0,00065	1,65E-05
	47	0,0008	2,03E-05
	47,22	0,00125	3,18E-05
	48,5	0,0014	3,56E-05

Continuación de la tabla XII.

	49,5	0,0016	4,06E-05
ESTABILIZANDO PROBETA	50,55	0,0017	4,32E-05
	50,55	0,0017	4,32E-05
	50,55	0,0017	4,32E-05
	50,55	0,0017	4,32E-05
	50,55	0,0017	4,32E-05
	50,55	0,0017	4,32E-05
	50,55	0,0017	4,32E-05
DESCENSO DE TEMPERATURA	49	0	0,00E+00
	46	0	0,00E+00
	44	0	0,00E+00
	43	0	0,00E+00
	42	0	0,00E+00
	41	0	0,00E+00
	40	0	0,00E+00
	38	0	0,00E+00
	34	0,00005	1,27E-06
	32	0,00005	1,27E-06
	31	0,00005	1,27E-06
	28	0,0001	2,54E-06
	18	0,00035	8,89E-06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Deformación total sin vibración 1ª

	TEMPERATURA (°C)	Deformación (m)	Deformación total sin vibración $\times 10^{-4}$ (m)
	16,5	0,00E+00	0
	17,5	5,08E-06	0,0508
	17,77	1,27E-05	0,127
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	18,33	0,00E+00	0,131
	18,88	7,62E-06	0,2072
	19	1,02E-05	0,2326
	19,5	1,27E-05	0,258
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	21	0,00E+00	0,2779
	22	1,02E-05	0,3795
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	23	0,00E+00	0,3967
	23,5	1,78E-05	0,5745
	23,88	2,54E-05	0,6507
	24,5	2,79E-05	0,6761
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	25,5	0,00E+00	0,7037
	26,22	7,62E-06	0,7799
	26,66	2,29E-05	0,9323
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-

Continuación de la tabla XIII.

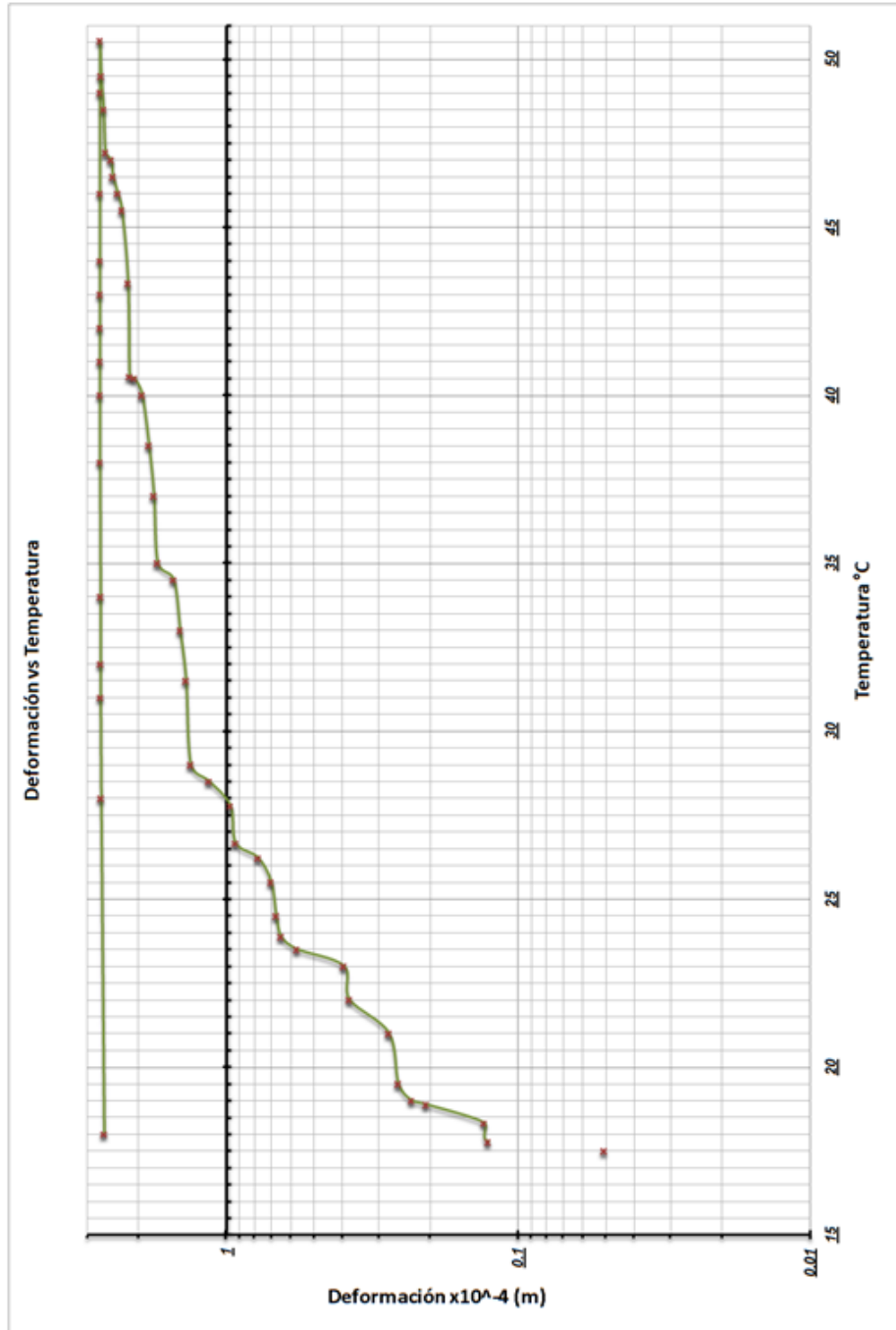
	27,77	0,00E+00	0,9711
	28,5	1,78E-05	1,1489
	29	3,56E-05	1,3267
	31,5	4,06E-05	1,3775
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	33	0,00E+00	1,4431
	34,5	7,62E-06	1,5193
	35	2,79E-05	1,7225
	37	3,30E-05	1,7733
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	38,5	0,00E+00	1,8452
	40	1,02E-05	1,9468
	40,5	2,29E-05	2,0738
	40,55	3,05E-05	2,15
	43,33	3,30E-05	2,1754
ZONA DE VIBRACIÓN	-	-	-
	45,5	0,00E+00	2,2843
	46	7,62E-06	2,3605
	46,5	1,65E-05	2,4494
	47	2,03E-05	2,4875
	47,22	3,18E-05	2,6018
	48,5	3,56E-05	2,6399
	49,5	4,06E-05	2,6907
	50,55	4,32E-05	2,7161
DESCENSO DE TEMPERATURA	49	0,00E+00	2,7161
	46	0,00E+00	2,7161
	44	0,00E+00	2,7161
	43	0,00E+00	2,7161
	42	0,00E+00	2,7161
	41	0,00E+00	2,7161

Continuación de la tabla XIII.

	40	0,00E+00	2,7161
	38	0,00E+00	2,7161
	34	1,27E-06	2,7034
	32	1,27E-06	2,7034
	31	1,27E-06	2,7034
	28	2,54E-06	2,6907
	18	8,89E-06	2,6272

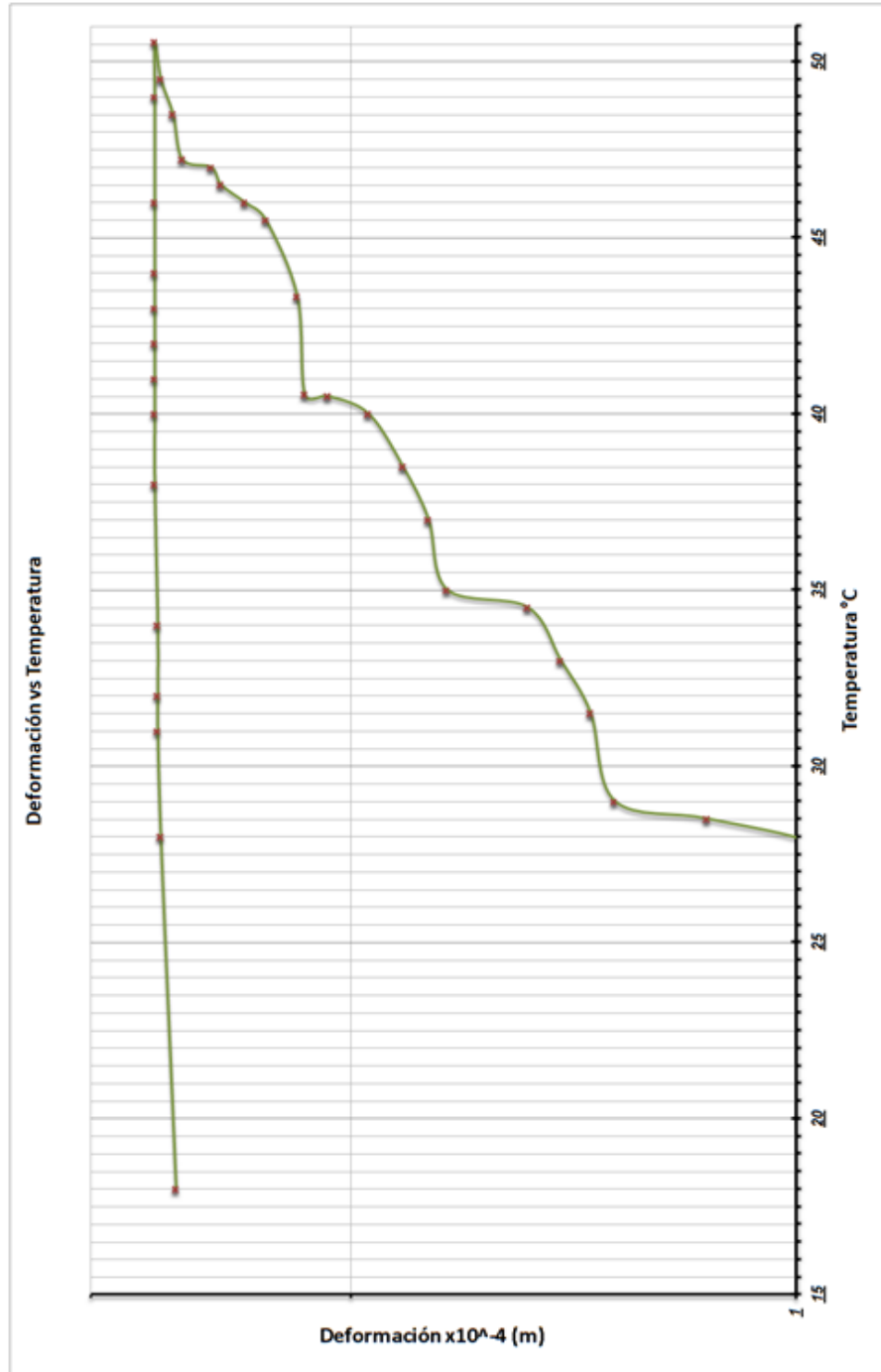
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Deformación *versus* temperatura



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Descenso de temperatura



Fuente: elaboración propia.

Se tomará solamente el aumento de temperatura

Tabla XIV. **Deformación total sin vibración 1b**

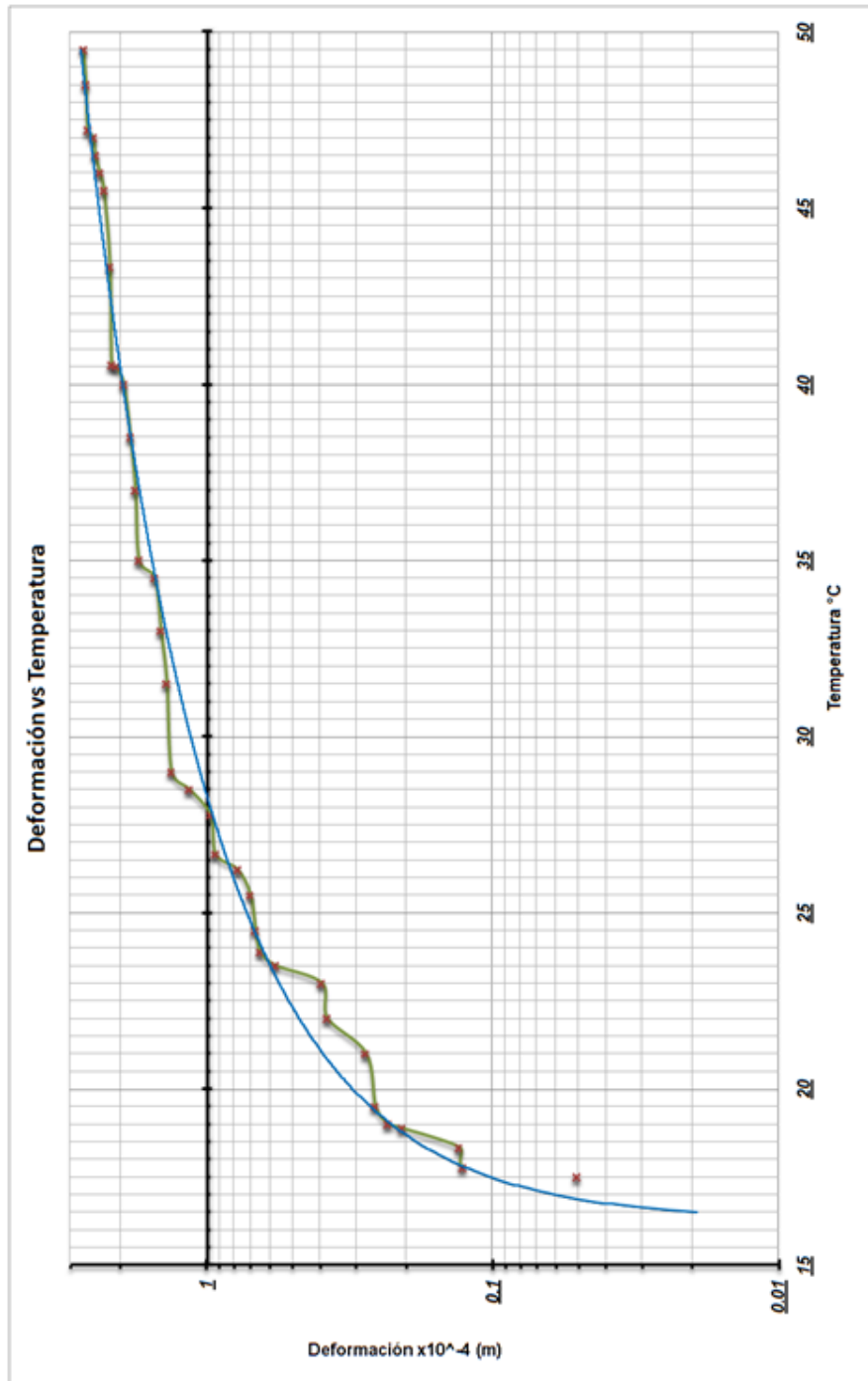
TEMPERATURA (°C)	Deformación total sin vibración x10⁻⁴ (m)
16,5	0
17,5	0,0508
17,77	0,127
18,33	0,131
18,88	0,2072
19	0,2326
19,5	0,258
21,0	0,2779
22	0,3795
23	0,3967
23,5	0,5745
23,88	0,6507
24,5	0,6761
25,5	0,7037
26,22	0,7799
26,66	0,9323
27,77	0,9711
28,5	1,1489
29	1,3267
31,5	1,3775
33	1,4431
34,5	1,5193
35	1,7225
37	1,7733
38,5	1,8452
40	1,9468
40,5	2,0738
40,55	2,1500
43,33	2,1754
45,5	2,2843
46	2,3605
46,5	2,4494
47	2,4875

Continuación de la tabla XIV.

47,22	2,6018
48,5	2,6399
49,5	2,6907

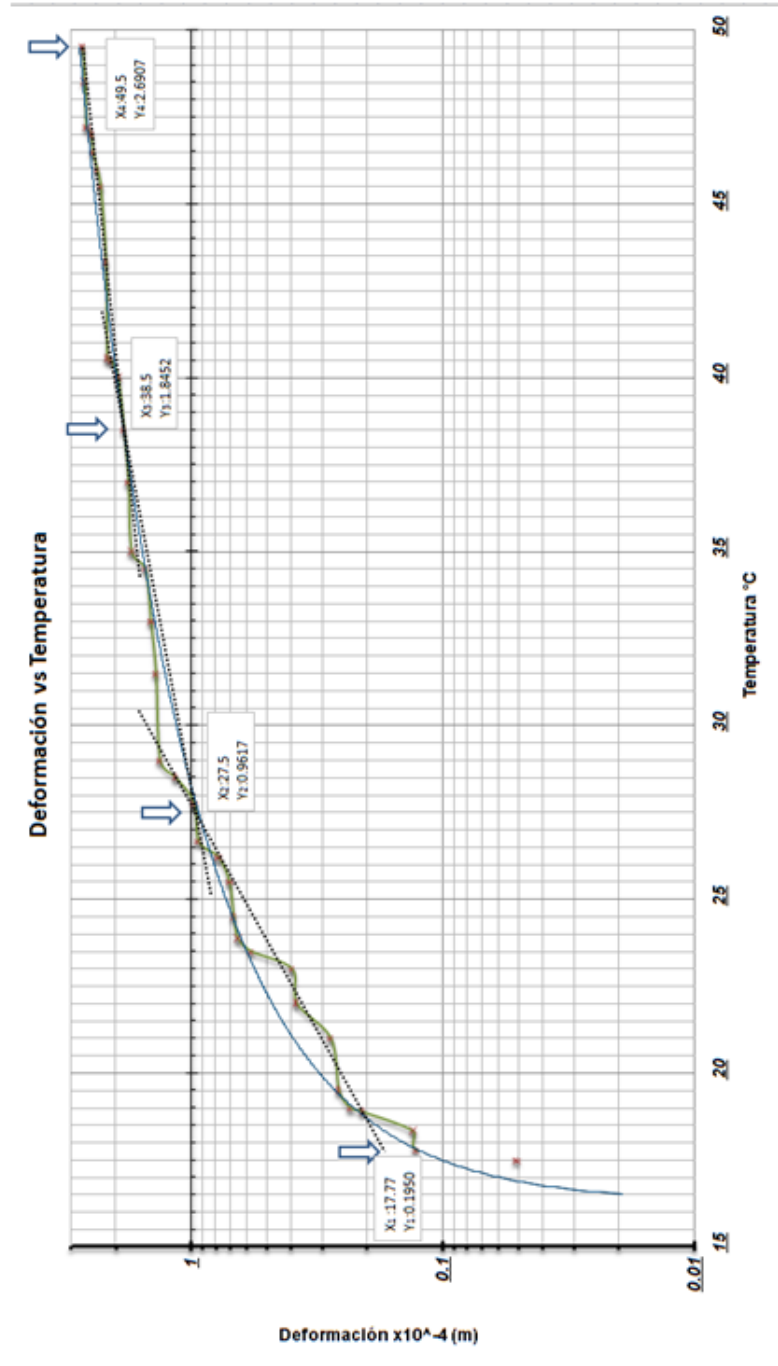
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Ascenso de deformación *versus* temperatura



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Trazo de líneas de tendencia



Fuente: elaboración propia.

5.1. Determinación del CDT

Como ya se mencionó el CDT es la pendiente de la gráfica deformación *versus* temperatura, la misma se encuentra de forma visual en los tres segmentos de curva que se muestran en la figura 15.

Tabla XV. Pendientes de la gráfica (deformación *versus* temperatura)

					Pendiente (m)
zona crítica 1	Xo	17,77	X1	27,5	0,07879753
	Yo	0,195	Y1	0,9617	
zona crítica 2	Xo	27,5	X1	38,5	0,08031818
	Yo	0,9617	Y1	1,8452	
zona crítica 3	Xo	38,5	X1	49,5	0,07686364
	Yo	1,8452	Y1	2,6907	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Determinación del CDT

$m=\Delta L/^{\circ}C$ (x 10 ⁻⁴)	$m=\Delta L/^{\circ}C$	CDT sin corrección $\mu\epsilon/^{\circ}C$	CDT con corrección $\mu\epsilon/^{\circ}C$	Material	CDT teórico $\mu\epsilon/^{\circ}C$
0,0787975	7,87975E-06	45,00	21,91	Aluminio	23,09
0,0803182	8,03182E-06	45,87	22,78	Concreto con Andesita (Tabla IV)	10.52
0,0768636	7,68636E-06	43,90	20,81		
		CDT PROMEDIO $\mu\epsilon/^{\circ}C$	21,83		

Fuente: elaboración propia.

5.2. Diseño de la junta de dilatación para los bordillos construidos en el suroeste del municipio de Guatemala

Evaluando la junta propuesta por las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes (DGC).

Según estas especificaciones se necesitan juntas de 15 milímetros cada 10 metros de bordillo.

Entonces sí:

$$CDT = 21,83 \mu\epsilon/^{\circ}C$$

Y con base en el estudio de las condiciones ambientales del suroeste del municipio de Guatemala, las temperaturas promedio más críticas son:

- Abril – temperatura máxima promedio = 27,75 °C – temperatura promedio = 20,9 °C.
- Enero – temperatura mínima promedio = 13,2 °C – temperatura promedio = 17,94 °C.

Se supone que el cambio de temperatura empezará desde la temperatura promedio, el mayor cambio registrado será:

$$\Delta T = 6,85 \text{ }^{\circ}C$$

Por lo que la deformación del bordillo con una longitud inicial de 10 metros será:

$$\delta = 21,83 \times 10 \times 6,85 = 1\,495,36 \mu m = 1,5 \text{ mm}$$

Como un factor de seguridad, tomando en cuenta que la temperatura máxima absoluta promedio anual para el suroeste del municipio de Guatemala es de 34 grados Celsius, utilizando un aumento del 30 por ciento en la deformación obtenida.

$$\delta = 1,5 \times 1,3 = 1,95 \text{ mm} = 2 \text{ mm}$$

Por lo que la junta de dilatación de los bordillos cada 10 metros deberá ser de 2 milímetros, utilizando esta aproximación por razones constructivas.

No se tomo en cuenta la humedad relativa promedio puesto que según lo investigado, no es un factor de influencia sobre la dilatación del concreto.

- Tomando en cuenta la investigación de campo, se sabe que las grietas en los bordillos aparecen a cada 3 metros. Utilizando los valores encontrados se diseña este tipo de junta:

$$\text{CDT} = 21,83 \mu\epsilon/^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 6,85 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\delta = 21,83 \times 3 \times 6,85 = 448,61 \mu\text{m} = 0,45 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,45 \times 1,3 = 0,60 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$$

Por lo que la junta de dilatación de los bordillos cada 3 metros deberá ser de 1 milímetro, utilizando esta aproximación por razones constructivas.

5.3. Análisis

La vibración que el baño de agua producía cuando se daba a la tarea de aumentar la temperatura, ocasionó que las lecturas de deformación no se pudieran obtener de una forma secuencial, provocando así pequeñas fases de deformación que dependían principalmente de la estabilización de la vibración, por lo que se procede a realizar una linealidad entre estas fases, no tomando en cuenta la zona de vibración, creando una sola gráfica que describiera el comportamiento total de la probeta al someterse a temperatura.

Cuando se obtuvieron estos valores totales de deformación ver tabla XIII, la contracción de la probeta no se llevo a cabo como se esperaba, debido a que esta no fue linealmente paralela a la dilatación, lo que supone que el concreto, sufre una difícil recuperación de su estado inicial al verse sometido a la dilatación. Por lo que con motivo de estudio se decide solo tomar como lecturas relevantes, para la determinación del CDT, que son las obtenidas durante el ascenso de temperatura.

Para obtener una mejor visualización de los datos fue necesario utilizar en el eje vertical, una escala logarítmica. Como se observa en la gráfica la deformación (ver figura 12) no es totalmente lineal, sino que experimenta cambios curvos, que representan zonas críticas de dilatación. Dando como resultado mayor CDT en un rango de temperatura de 27,5 a 38,5 grados Celsius y menor en un rango de temperatura de 38,5 a 49,5 grados Celsius, provocando mayor dilatación a temperaturas cercanas al promedio, por esto también fue necesario realizar una división de esta curva en tres partes, trazando líneas que siguen lo más posible la curvatura de la zona específica.

Al obtener las pendientes de estas líneas trazadas (ver figura 15) se procedió al cálculo del coeficiente. Se hizo necesario realizar una corrección al coeficiente puesto que el material donde se apoyo la probeta, que es el fondo del baño de agua, también sufrió dilatación al aumentar la temperatura, y es así como se obtiene el CDT del concreto en estudio, como se observa en la tabla XV.

Se compara el CDT teórico y el determinado (ver tabla XVI), se puede observar un aumento de 11,31 unidades ($\mu\epsilon/^\circ\text{C}$) que corresponde al 207,51 por ciento mayor al CDT teórico, provocando mayores dilataciones a menor cambio de temperatura.

Se observa las grandes deformaciones ocasionadas y la retardada y poca recuperación (ver tabla XIII), se puede discernir que la probeta alcanzo su estado plástico. Provocando a su vez fisuras internas que dieron lugar a que la pasta de cemento y los agregados se deformaran por separado, perdiendo (el concreto) su característica de material homogéneo, provocando un alto valor del CDT conforme al coeficiente utilizado como parámetro teórico.

Al realizar el diseño de la junta de dilatación con las condiciones del suroeste del municipio de Guatemala, se ve claramente que hay un aumento en el valor indicado por la Dirección General de Caminos, por lo que posterior a realizar esta investigación esto pudo haber sido la causa del deterioro. De los bordillos en esta zona, puesto que se necesita mayor espacio para que las deformaciones de térmicas no provoquen esfuerzos adicionales a los bordillos.

CONCLUSIONES

1. Es indispensable realizar la prueba bajo condiciones de saturación de agua, puesto que esto representará las condiciones medio ambientales que el concreto en la vida de servicio tendrá que soportar.
2. Las posibilidades en el medio para la realización del ensayo no son las más indicadas, debido a que hace falta mayor calidad y precisión en los equipos, ya que las mediciones a realizar son bastante pequeñas, y da pie a cometer muchos errores.
3. La curvatura que representa la dilatación térmica del concreto estudiado, expresa claramente que no se dilata de forma lineal, provocando que el concreto, tenga dilataciones más grandes en la zona de temperatura de 27,5 a 38,5 grados Celsius.
4. El valor CDT determinado para las condiciones del suroeste del municipio de Guatemala es de 207,51 por ciento.
5. El factor de mayor influencia en el CDT del concreto, es el tipo roca que compone el agregado grueso.
6. El CDT de la pasta debe ser de un valor similar al CDT del agregado grueso, de lo contrario estos no permitirán que el concreto trabaje como un material homogéneo, provocando un rompimiento de estos dos componentes.

7. El valor del CDT teórico adoptado fue determinado para un concreto hidráulico hecho con cemento Portland tipo 1 según la Norma ASTM C-150. Por otro lado el valor determinado del CDT en las condiciones determinado para un concreto hidráulico fabricado con cemento Portland Modificado con Puzolana I (PM), con características de un cemento Portland tipo III (Alta Resistencia Inicial) según la Norma ASTM C-150. Lo que indica la principal diferencia del valor del coeficiente extranjero y el evaluado para nuestro medio.
8. La diferencia entre el CDT determinado según el Departamento de Servicios de Federal, Administración de Carreteras EE.UU y el que se ha determinado con las condiciones de esta investigación es de 11,31 unidades ($\mu\epsilon/^{\circ}\text{C}$).
9. El tamaño de la junta de dilatación según las especificaciones de carreteras y caminos en Guatemala, no es adecuada, ya que según el diseño realizado no representa el espacio suficiente para la deformación que será provocada por el cambio de temperatura, en el suroeste del municipio de Guatemala.
10. Al haber realizado la investigación de campo se demostró que la principal causa del deterioro de estos elementos tan importantes para la vida útil de las carreteras, se debe claramente a la poca importancia que se les dan a los mismos y el interés de economizar por parte de las empresas constructivas.
11. Los bordillos son parte fundamental para la durabilidad del pavimento, por lo que su construcción adecuada es primordial.

12. Los esfuerzos de origen térmico son relevantes en cuanto a la durabilidad de las estructuras, y no se deben tomar a la ligera sus efectos. Es responsabilidad de la ingeniería, investigar los mismos en Guatemala.

RECOMENDACIONES

1. Si se desea realizar un plan de estudio sobre el CDT de los concretos producidos en Guatemala, será necesario utilizar un deformímetro con la precisión de 0,00025 milímetros, de lo contrario se podrían provocar muchos errores.
2. Es necesario la utilización de otro tipo de dispositivo (de baño de agua), que no provoque vibraciones, cuando la temperatura en el mismo aumente.
3. Cuando se estén realizando los ascensos de temperatura, se deberá tener especial cuidado en la estabilización del deformímetro después de las vibraciones que sufre el sistema, no perdiendo de vista los movimientos que en las agujas de deformímetro se presentan. Para poder tener un buen criterio en la selección del cero de referencia, y poder obtener verdaderos aumentos de dilatación y no los efectos de vibración.
4. Es imprescindible en todo momento de la prueba, estar atento a la deformación y la temperatura, puesto que en un parpadeo se puede perder una lectura importante.
5. Tener bien planificado el tiempo de ensayo, ya que este puede alcanzar hasta las 9 horas.

6. Tener un tiempo prudente para que las últimas lecturas (antes de aumentar la temperatura) se estabilicen, puesto que el baño al no estar totalmente sellado no presentará la temperatura que se le requirió, pero alcanzará una temperatura de 3 grados Celsius menor a la mostrada en la pantalla digital.
7. Es importante que se tome más conciencia sobre la importancia de los bordillos en la obra civil, puesto que representarán la durabilidad de las estructuras conexas.
8. Aunque existen valores típicos o rangos de CDT para el cemento y el concreto común, el CDT varía significativamente dependiendo de muchos factores, como el tipo de agregado, condiciones de humedad. Por lo tanto, no es adecuado utilizar sólo un valor medio, ya que esto puede dar lugar a suposiciones erróneas acerca de la respuesta térmica de los bordillos.
9. Es necesario seguir investigando sobre el verdadero comportamiento del concreto fabricado en Guatemala, puesto que se sigue demostrando que cada espacio geográfico del planeta es distinto y se pueden seguir adaptando valores que no están obtenidos con condiciones propias, y que no siempre se pueden asimilar al entorno.
10. Realizar una relación entre el volumen inicial de la muestra y el final (obtenido después del ensayo).

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State and Highway Transportation Officials (AASHTO). *Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete. TP 60-00*. 2006. 7 p.
2. _____. *A policy on geometric design of highways and streets 2001*, 7 p.
3. AL-OSTAZ, Ahmed. *Effect of moisture content on the coefficient of thermal expansion of concrete. Department of Civil Engineering the University of Mississippi and the Mississippi Department of Transportation*, septiembre del 2007. [en línea]. <http://ntl.bts.gov/lib/44000/44500/44571/State_Study_187_Effect_of_Moisture_Content_on_the_Coefficient_of_Thermal_Expansion_of_Concrete.pdf>. 25 p. [Consulta: 25 de agosto de 2013].
4. CHAVEZ CHANCHAVAC, Karla Liliana. *Determinación de las características: físicas, mecánicas, químicas y petrográficas de agregados, extraídos del río Villa Lobos, kilómetro 22 de la ruta nacional 1 jurisdicción del municipio de Villa Canales, Guatemala, para su uso en la industria del concreto*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2010. 2 p.

5. Chapter 5, *Curbs*. [en línea]. <<http://www.in.gov/indot/files/procedchapter05.pdf>>. 8 p. [Consulta: 25 de agosto de 2013].
6. DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, MINISTERIO DE COMUNICACIONES, INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA REPÚBLICA DE GUATEMALA. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: MICIVI diciembre 2001. 5 p.
7. GARCÍA DÍAZ, Marco Antonio. *Guía práctica para el curso: resistencia de materiales 1*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Año 2010. 7 p.
8. MAGUIÑA ALZAMORA, José Eloy. *Juntas en el concreto*. [en línea]. <<http://civilgeeks.com/2012/03/27/juntas-en-el-concreto/>>. [Consulta: 3 de febrero 2013].
9. NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, *Recommended Guidelines for Curb and Curb–Barrier Installations, Report 537, 2005*. [en línea]. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_537.pdf>. 10 p. [Consulta: 25 de agosto de 2013].
10. PYTEL, Andrew & SINGER, Ferdinand L. *Resistencia de materiales*. 4a ed. Mexico: Alfa Omega, 1994. 613 p.

11. SHIN, Hak-Chul y CHUNG, Yoonseok. *Determination of coefficient of thermal expansion effects on louisiana's PCC pavement design. Department of Civil and Environmental Engineering Louisiana State University, diciembre 2011. [en línea]. <http://www.ltrc.lsu.edu/pdf/2011/fr_451.pdf>. 10 p. [Consulta: 3 de febrero 2013].*

APÉNDICE

Apéndice 1. Baño de agua



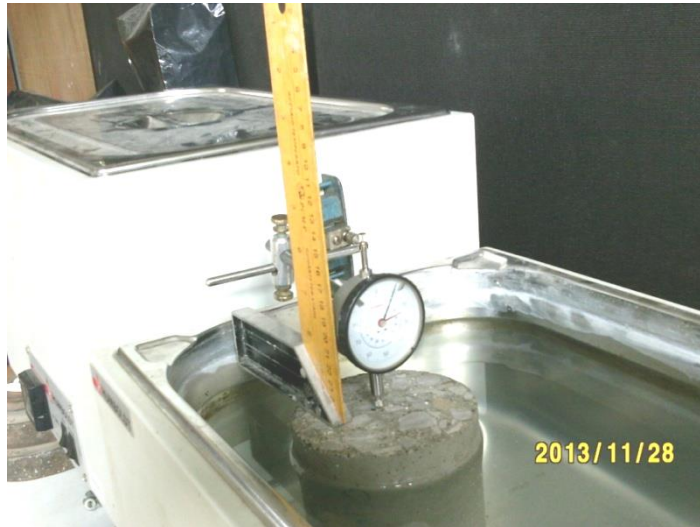
Fuente: Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 2. Colocando deformímetro



Fuente: Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 3. **Afinando posición de deformímetro**



Fuente: Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 4. **Colocando termometro**



Fuente: Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 5. **Sistema propuesto para medición del CDT**



Fuente: Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 6. **Sistema propuesto para medición del CDT**



Fuente: Laboratorio de Suelos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 7. Ensayo de agregado fino

AGREGADO FINO PARA CONCRETO	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA		
INTERESADO: Mario Alejandro Corado Martir, No. 201020942.	INFORME No. S.C. - 449	PROYECTO: Trabajo de Graduación "Determinación del Coeficiente de Dilatación Térmica para el Concreto utilizado en la Construcción de Bordillos".	
MUESTRA: Agregado Fino	FECHA: 18/06/2013	O.T. No. 31508	LAB.: Concretos
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:			
Peso Específico	2.31		
Peso Unitario (kg/m ³)	1421.03		
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1352.44		
Porcentaje de Vacíos	38.50		
Porcentaje de Absorción	6.16		
Contenido de Materia Orgánica	-----		
% Retenido en Tamiz 6.35	-----		
% que pasa Tamiz 200	-----		
Modulo de Finura	2.76		

Tamiz No.	9.40	4.76	2.38	1.19	0.59	0.29	0.15
% Que pasa	100.00	97.70	88.80	73.67	59.86	46.86	2.10

OBSERVACIONES:
a) Muestra proporcionada por el interesado.

SECCION AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS


Ing. Dalma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de agregados, concretos y morteros

Vo.Bo.

Ing. Teima Maricela Carró Morales
Directora CII/USAC

Fuente: elaboración propia.

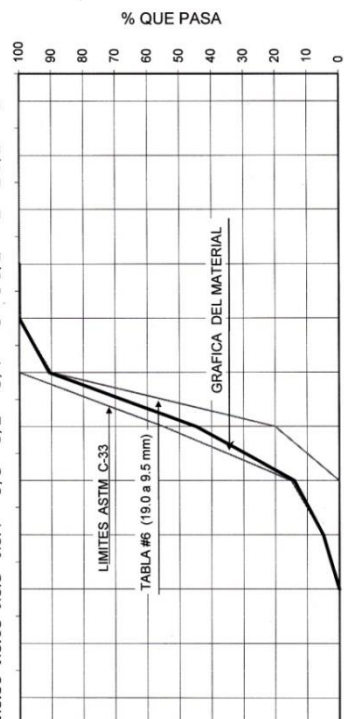
Apéndice 8. Ensayo de agregado grueso

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA</p>	<p>PROYECTO: Trabajo de graduación "Determinación del coeficiente de dilatación térmica para el concreto utilizado en la construcción de bordillos"</p> <p>O.T. No.: 31509 LAB.: Agregados, Concretos y Morteros</p>
<p>AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO</p>	<p>INFORME No.: S.C. -467</p> <p>FECHA: 27/06/2013</p>
<p>INTERESADO: Mario Alejandro Corado Martir, Carné No. 201020942</p>	<p>MUESTRA: Agregado Grueso</p>

No.50	No.16	No.8	No.4	3/8"	1/2"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
-------	-------	------	------	------	------	----	--------	----	--------	----

CARACTERISTICAS FISICAS:

Peso Especifico	2.69
Peso Unitario (kg/m ³)	1508,86
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1410,00
Porcentaje de Vacíos	43,91
Porcentaje de Absorción	0,58
% Tamiz 200	-----
% Desgaste por Abrasión	-----
% Partículas Planas y alargadas	-----



Tamiz No.	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
% Que pasa	100,00	100,00	90,64	44,80	14,06	4,98	0,00

OBSERVACIONES:
a) Muestra proporcionada por el interesado

SECCION DE AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS

Inga. Dina Yaret Mejicanos Jo
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

SECCION DE AGREGADOS, CONCRETOS Y MORTEROS

Vo.Bo.
Inga. Teima Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Resistencia del concreto a compresión



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO NORMA NTG 41017h1 (ASTM C-39)

INFORME No. S.C. - 594

O.T. No. 31510

HOJA 1/1

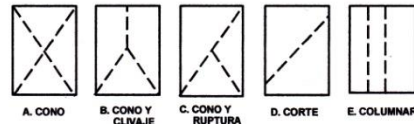
INTERESADO: Mario Alejandro Corado Martir, Carné No. 2010 20942
PROYECTO: Trabajo de graduación " Determinación del coeficiente de dilatación térmica para el concreto utilizado en la construcción de bordillos, en el suroeste del municipio de Guatemala"
DIRECCIÓN: 9 calle lote 2-45, Ciudad Real II, zona 12.
FECHA: 16 de agosto de 2013

No. CILINDRO OBRA	No. CILINDRO LABORATORIO	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD en días	CILINDRO REPRESENTATIVO DE LA FUNDICIÓN	PESO en kg	DIÁMETRO en cm	ALTURA en cm	CARGA en libras	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/pig"	TIPO DE FRACTURA
1	68-8	12/07/2013	15/07/2013	3	Control de calidad	11,575	14,855	31,050	57 388	14,70	2130	B
2	69-8	12/07/2013	30/07/2013	18	Control de calidad	11,397	14,850	30,200	70 295	18,00	2610	E
3	70-8	12/07/2013	01/08/2013	20	Control de calidad	11,465	14,947	31,050	67 878	17,20	2500	A
4	71-8	12/07/2013	12/08/2013	31	Control de calidad	11,305	14,998	29,735	77 545	19,50	2830	A
5	72-8	12/07/2013	12/08/2013	31	Control de calidad	11,478	15,030	30,060	69 811	17,50	2540	B

OBSERVACIONES :

- Muestra proporcionada por el interesado.
- Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine Division cm capacidad de 300 000 libras.
- Dial utilizado para la lectura de cargas: 300 000 libras.
- Cilindro cabeceado según Norma ASTM C-1231.
- El interesado proporcionó:
 - No. de cilindro en obra.
 - Fecha de fundición.
 - Edad de ensayo.
 - El representativo de la fundición.
- Cemento utilizado: alta resistencia inicial

BOSQUEJO DE TIPOS DE FRACTURA



Inga Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros
CONCRETOS Y MORTEROS
CII / USAC

ATENTAMENTE,

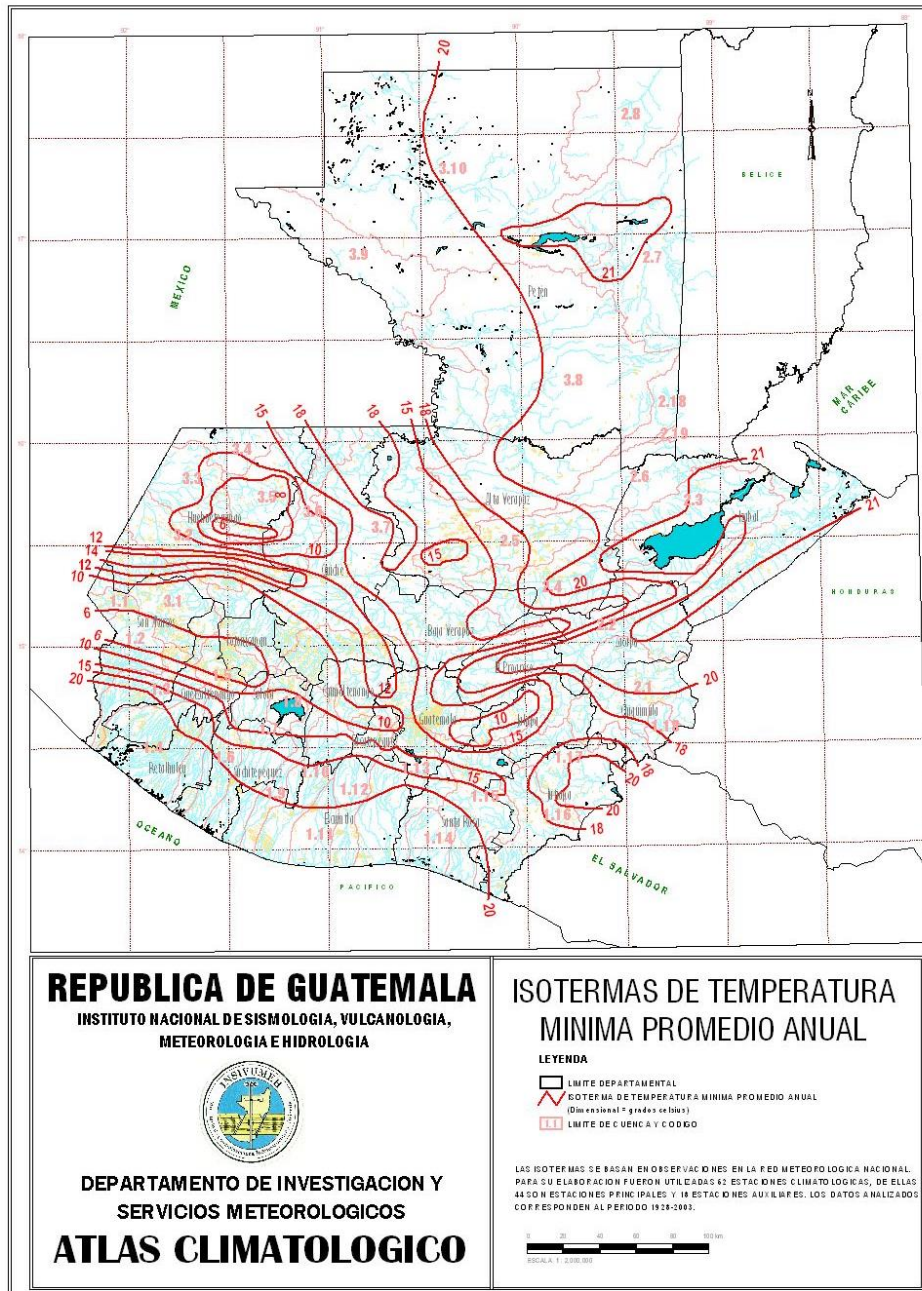
Vo.Bo.
Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 862209 y 862211 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: elaboración propia.

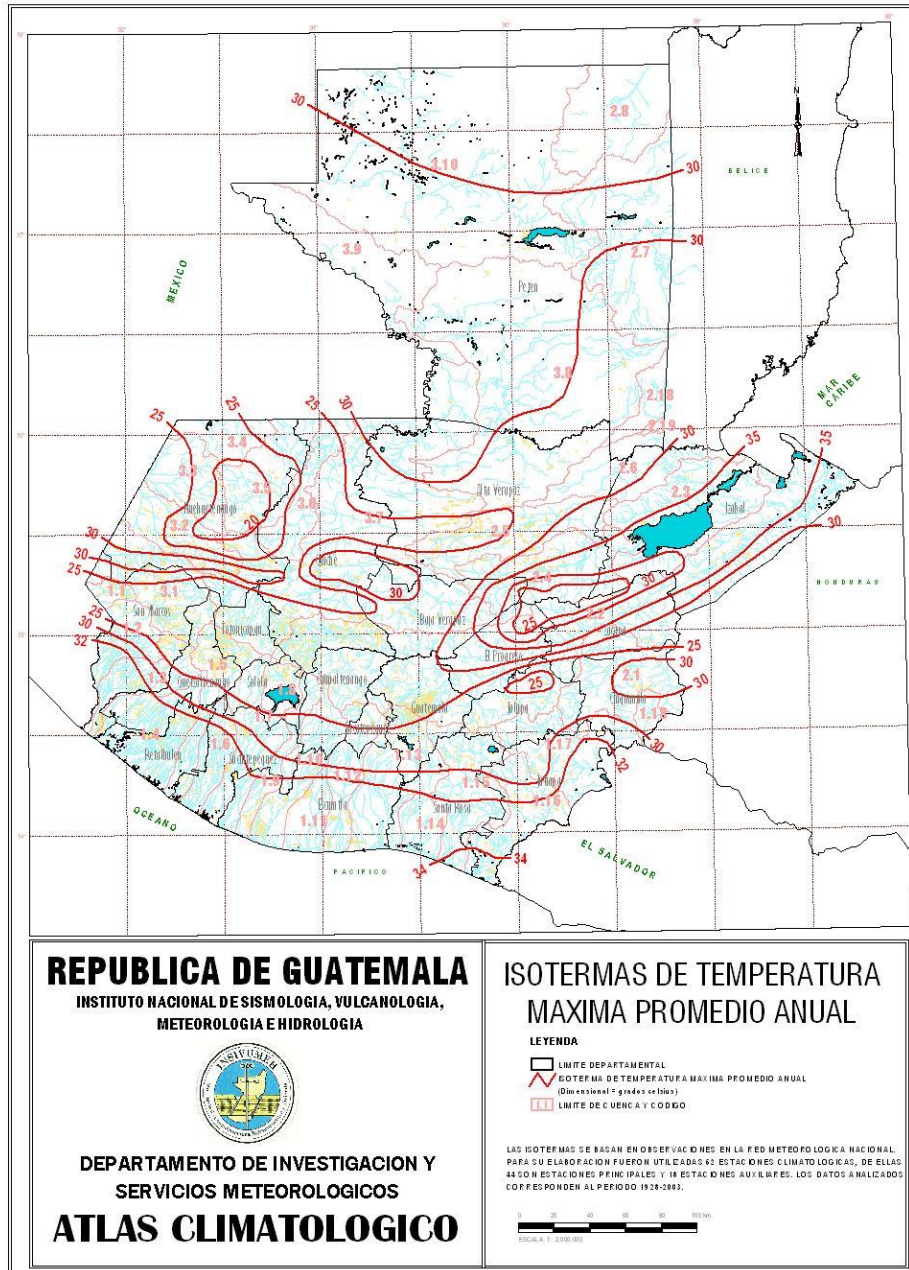
ANEXOS

Anexo 1. Isotermas de temperatura mínima promedio anual



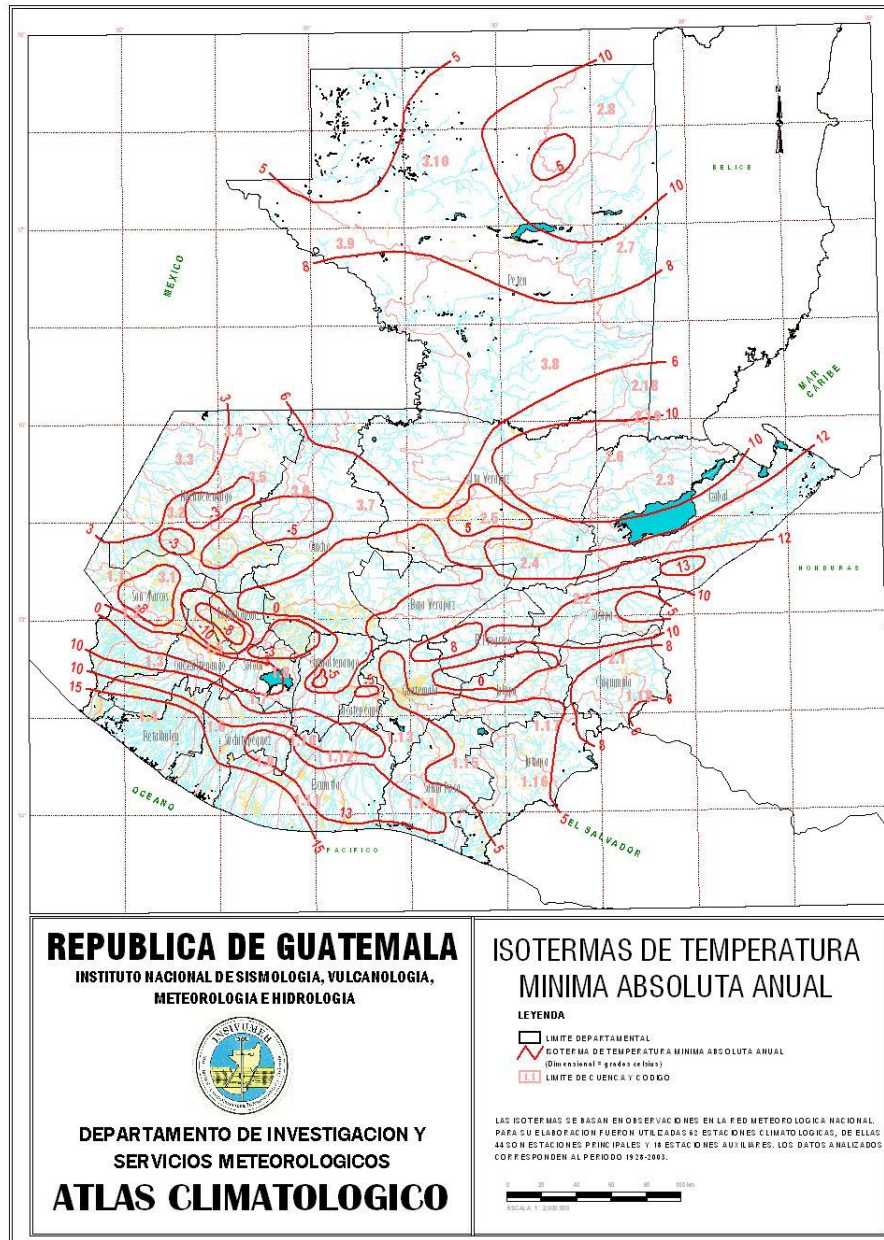
Fuente: Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología E Hidrología (INSIVUMEH).

Anexo 2. Isotermas de temperatura máxima promedio anual



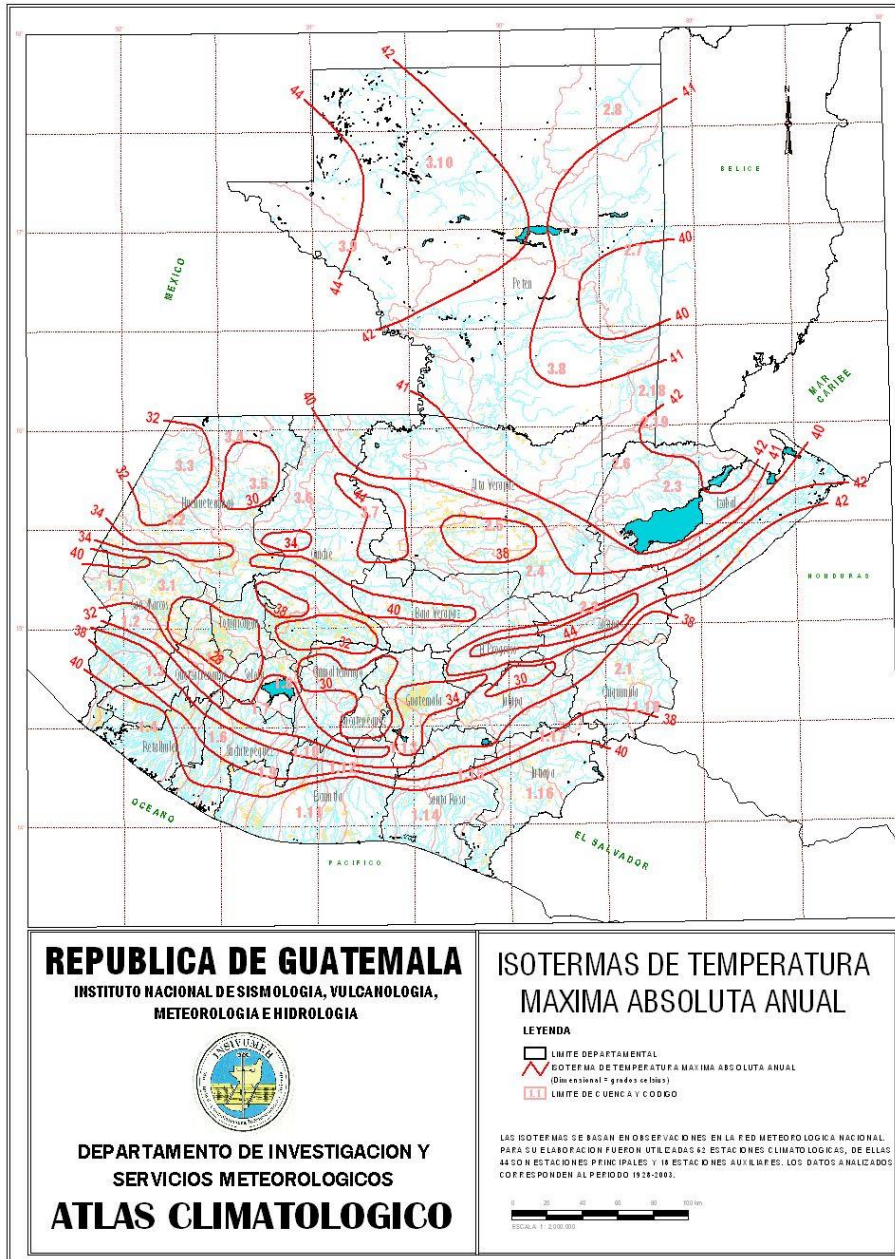
Fuente: Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología E Hidrología (INSIVUMEH).

Anexo 3. **Isotermas de temperatura mínima absoluta anual**



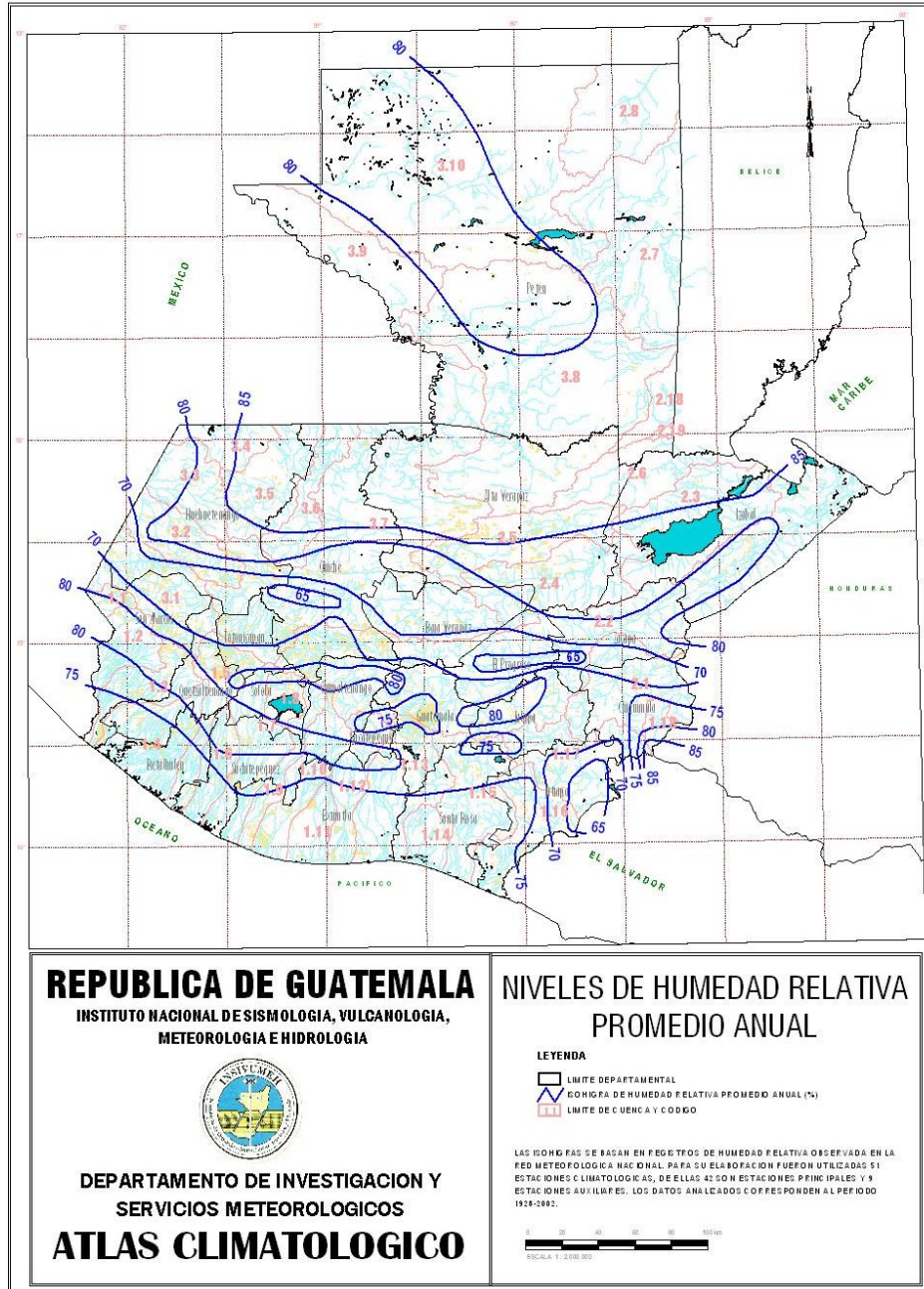
Fuente: Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología E Hidrología (INSIVUMEH).

Anexo 4. **Isotermas de temperatura máxima absoluta anual**



Fuente: Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología E Hidrología (INSIVUMEH).

Anexo 5. Niveles de humedad relativa promedio anual




Fuente: Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología E Hidrología (INSIVUMEH).

Anexo 6. **Norma AASHTO TP-60 (2006), Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete**

AASHTO TP-60

Standard Method of Test for

Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete



AASHTO Designation: TP 60-00 (2006)¹

1. SCOPE

1.1. This test method covers determination of the coefficient of thermal expansion (CTE) of hydraulic cement concrete cores or cylinders. Since it is known that the degree of saturation of concrete influences its measured coefficient of thermal expansion, the moisture condition of the concrete specimens must be controlled. For this test procedure, the specimens must be in a saturated condition.

1.2. The values stated in SI units shall be regarded as the standard.

2. REFERENCED DOCUMENTS

2.1. *AASHTO Standards:*

- R 39, Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- T 23, Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field
- T 24, Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

3. SUMMARY OF TEST METHOD

3.1. This method determines the CTE of a cylindrical concrete specimen, maintained in a saturated condition, by measuring the length change of the specimen due to a specified temperature change. The measured length change is corrected for any change in length of the measuring apparatus (previously determined), and the CTE is then calculated by dividing the corrected length change by the temperature change and then the specimen length, as described in the section on calculations.

4. SIGNIFICANCE AND USE

4.1. Measurement of the CTE permits assessment of the potential for length/volume change of concrete due to a uniform temperature change, and the potential deformation of a concrete structure due to a temperature gradient through the concrete. As an example, for pavement slabs on grade, uniform temperature change will affect the openings at joints, and a temperature gradient through the thickness of these same slabs will produce curbing of the slabs. Using the results of this test, better estimates of slab movement and stress development due to temperature change can be obtained.

Continuación del anexo 6.

5. APPARATUS

- 5.1. *Concrete Saw*—Capable of sawing the ends of a cylindrical specimen perpendicular to the axis and parallel to each other.
- 5.2. *Balance*—A scale or balance having a capacity of 20 kg (44 lb), and accurate to 0.1 percent over its range.
- 5.3. *Caliper*—Comparator or other suitable device to measure the specimen length to the nearest 0.1 mm (0.004 in.).
- 5.4. *Water Bath*—A controlled-temperature water bath with a temperature range of 10 to 50°C (50 to 122°F), capable of controlling the temperature to 0.1°C (0.2°F).
- 5.5. *Support Frame*—A rigid support frame for the specimen to be used during length change measurement. The frame should be designed to have minimal influence on the length change measurements obtained during the test, and support the specimen such that the specimen is allowed to freely adjust to any change in temperature. A suitable support frame is described in detail in Appendix X1.
- 5.6. *Temperature Measuring Devices*—Four submersible temperature measuring devices with a resolution of 0.1°C (0.2°F) and accurate to 0.2°C (0.4°F).
- 5.7. *Gauge*—A submersible LVDT gauge head with excitation source and digital readout, with a minimum resolution of 0.00025 mm (0.00001 in.), and a range suitable for the test (for ease in setting up the apparatus, a range of ± 3 mm (0.1 in.) has been found practical) (Note 1).
- Note 1**—Linear variable differential transformers (LVDTs) with the appropriate associated electronic actuating and indicating apparatus appear to give the best results with respect to stability, sensitivity, and reliability. Multichannel recording of outputs has been found to be practical and efficient. As an alternate, a data logger can be used to excite the LVDT and record the LVDT and both temperature and time outputs. The data can be stored directly in a personal computer for graphing of test results.
- 5.8. *Micrometer*—A micrometer or other suitable device for calibrating the LVDT over the range to be used in the test and with a minimum resolution of 0.00025 mm (0.00001 in.).

6. TEST SPECIMENS

- 6.1. Test specimens shall consist of drilled 100-mm (4-in.) nominal diameter cores sampled from the concrete structure being evaluated, or 100-mm (4-in.) nominal diameter cylinders. Cores shall be obtained in accordance with T 24. Cylinders shall be cast in accordance with T 23 or R 39. The specimens shall be sawed perpendicular to the axis at a suitable length. A length of 180 ± 2 mm (7.0 ± 0.1 in.) has been found acceptable. The standard reference material used for calibration (see Appendix X2) shall be the same length as the test specimen so that the frame does not have to be adjusted between calibration and testing. The sawed ends shall be flat and parallel.

Continuación del anexo 6.

7.	PROCEDURE
7.1.	<i>Specimen Conditioning</i> —The specimens shall be conditioned by submersion in saturated lime water at $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($73 \pm 4^{\circ}\text{F}$) for not less than 48 hours and until two successive weighings of the surface-dried sample at intervals of 24 hours show an increase in weight of less than 0.5 percent. A surface-dried sample is obtained by removing the surface moisture with a towel.
7.2.	<i>Testing Procedure:</i>
7.2.1.	Place the measuring apparatus, with LVDT attached, in the water bath and fill the bath with cold tap water. Place the four temperature sensors in the bath at locations that will provide an average temperature for the bath as a whole. To avoid any sticking at the points of contact with the specimen, put a very thin film of silicon grease on the end of the support buttons and LVDT tip.
7.2.2.	Remove the specimen from the saturation tank and measure its length at room temperature to the nearest 0.1 mm (0.004 in.). After measuring the length, place the specimen in the measuring apparatus located in the controlled-temperature bath, making sure that the lower end of the specimen is firmly seated against the support buttons, and that the LVDT tip is seated against the upper end of the specimen (Note 2). Note 2 —The desired range of travel is the linear range of the LVDT over which it has been calibrated. The LVDT travel during the test should remain well within this range to insure accurate results.
7.2.3.	Set the temperature of the water bath to $10 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($50 \pm 2^{\circ}\text{F}$). When the bath reaches this temperature, allow the bath to remain at this temperature until thermal equilibrium of the specimen has been reached, as indicated by consistent readings of the LVDT to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.) taken every 10 minutes over a one-half hour time period. Also at this time, check that the specimen is firmly seated against the support buttons, as confirmed by the LVDT reading.
7.2.4.	Record the temperature readings from the four sensors to the nearest 0.1°C (0.2°F). Record the LVDT reading to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.). These are the initial readings.
7.2.5.	Set the temperature of the water bath to $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($122 \pm 2^{\circ}\text{F}$). Once the bath has reached $50 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($122 \pm 2^{\circ}\text{F}$), allow the bath to remain at this temperature until thermal equilibrium of the specimen has been reached, as indicated by consistent readings of the LVDT to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.) taken every 10 minutes over a one-half hour time period.
7.2.6.	Record the temperature readings from the four sensors to the nearest 0.1°C (0.2°F). Record the LVDT reading to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.). These are the second readings.
7.2.7.	Set the temperature of the water bath to $10 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($50 \pm 2^{\circ}\text{F}$). When the bath reaches this temperature, allow the bath to remain at this temperature until thermal equilibrium of the specimen has been reached, as indicated by consistent readings of the LVDT to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.) taken every 10 minutes over a one-half hour time period.
7.2.8.	Record the temperature readings from the four sensors to the nearest 0.1°C (0.2°F). Record the LVDT reading to the nearest 0.00025 mm (0.00001 in.). These are the final readings.

Continuación del anexo 6.

8. CALCULATIONS

- 8.1. *Coefficient of Thermal Expansion*—Calculate the CTE of one expansion or contraction test segment of a concrete specimen as follows (reported in micro strains/°C):

$$CTE = (\Delta L_a / L_o) / \Delta T \quad (1)$$

where:

ΔL_a = actual length change of specimen during temperature change, mm, (see Equation 2);

L_o = measured length of specimen at room temperature, mm; and

ΔT = measured temperature change (average of the four sensors), °C (increase = positive, decrease = negative).

$$\Delta L_a = \Delta L_m + \Delta L_f \quad (2)$$

where:

ΔL_m = measured length change of specimen during temperature change, mm (increase = positive, decrease = negative); and

ΔL_f = length change of the measuring apparatus during temperature change, mm. (See Equation 3.)

$$\Delta L_f = C_f \times L_o \times \Delta T \quad (3)$$

where:

C_f = correction factor accounting for the change in length of the measurement apparatus with temperature, in.³/in./°C. (See Appendix X2.)

- 8.2. For the expansion test segment, the initial and second readings are used in the calculations. For the contraction test segment, the second and final readings are used in the calculations.

- 8.3. The test result is the average of the two CTE values obtained from the two test segments provided the two values are within 0.3 micro strain/°C (0.5 micro strain/°F) of each other. If the two values are not within 0.3 micro strain/°C (0.5 micro strain/°F) of each other, one or more additional test segments are completed until two successive test segments yield CTE values within 0.3 micro strain/°C (0.5 micro strain/°F) of each other. The test result is the average of these two CTE values (Note 3).

$$CTE = (CTE_1 + CTE_2) / 2 \quad (4)$$

Note 3—Differences in successive CTEs greater than the required value sometimes occur during the first few cycles of temperature change due to minor misalignment, or lack of proper initial seating of the specimen. This is usually self-correcting during the first few temperature cycles. However, it does point out the importance of carefully positioning the specimen at the start of the test.

9. REPORT

- 9.1. *The report shall include the following information:*

- 9.1.1. Identification number;

Continuación del anexo 6.

- 9.1.2. Specimen type, description, and source;
- 9.1.3. Specimen dimensions, including length and diameter;
- 9.1.4. Mixture proportions and aggregate type, if available;
- 9.1.5. All temperature and length measurements collected during the test;
- 9.1.6. All calculated values, including CTE data and the final CTE value;
- 9.1.7. The frame's correction factor, C_f , as well as the reference material used and its thermal coefficient;
- 9.1.8. Date of test;
- 9.1.9. Place of test;
- 9.1.10. Technician conducting test; and
- 9.1.11. Any other pertinent information.

10. PRECISION AND BIAS

- 10.1. *Precision*—No precision has been established for this test method.
- 10.2. *Bias*—No bias can be established because no reference material is available for this test.

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. SPECIMEN MEASURING APPARATUS

- X1.1. The measuring apparatus consists of two primary components: a frame and a length change measuring device.
- X1.2. *Frame:*
 - X1.2.1. Figure X1.1 shows a schematic of a suitable measuring frame. Any specimen measuring frame should be constructed with the following features in mind:
 - X1.2.2. Because the frame will be submerged in water throughout the test, components should be made of a noncorroding material. In so far as possible, the portions of the frame, which directly affect measurement over a change in temperature, should be constructed of invar and protected from corrosion as necessary.
 - X1.2.3. The frame may be designed to be adjustable to accommodate different sample lengths; however, calibrations will be required after each adjustment.

Continuación del anexo 6.

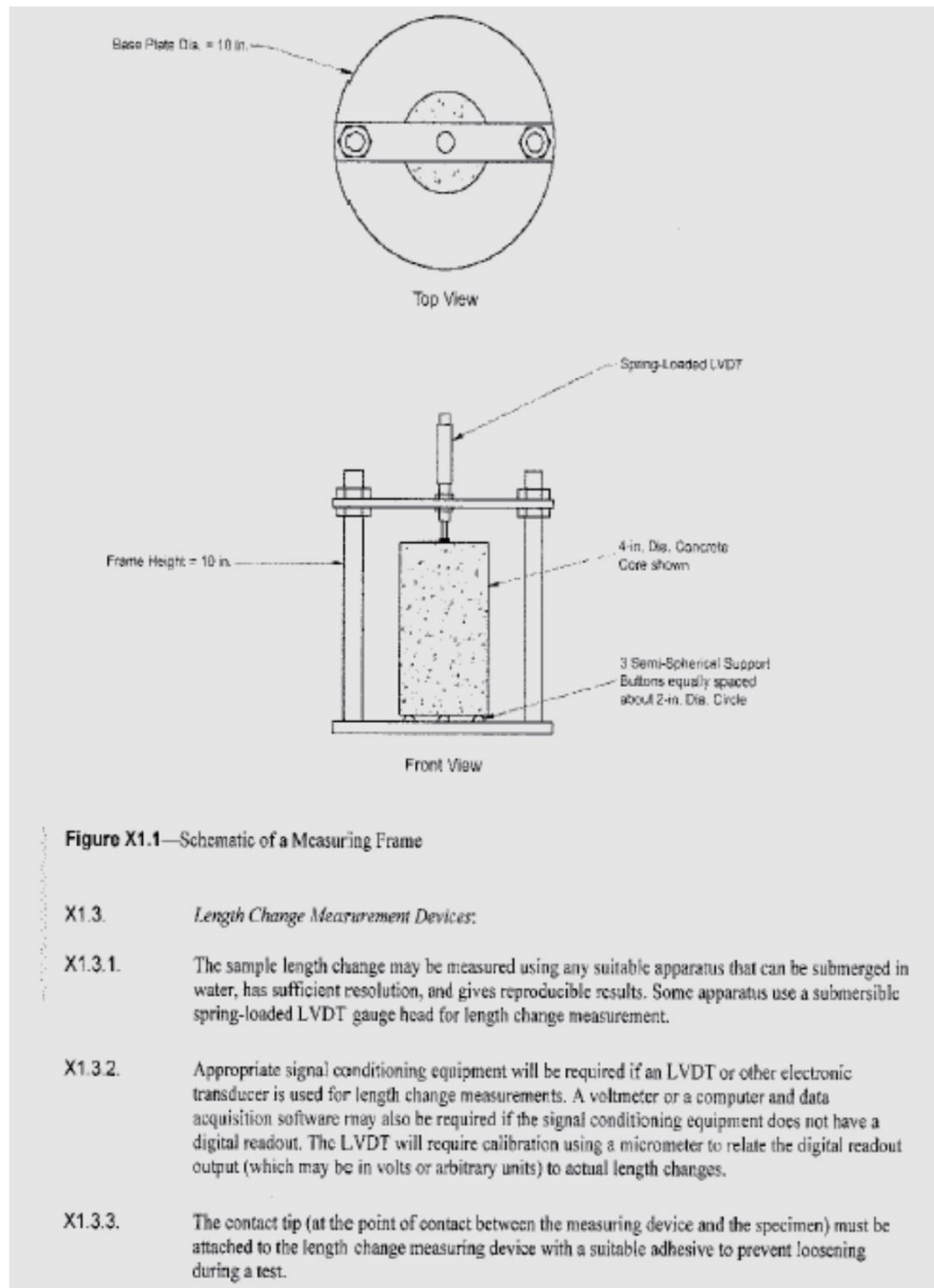


Figure X1.1—Schematic of a Measuring Frame

X1.3. *Length Change Measurement Devices:*

X1.3.1. The sample length change may be measured using any suitable apparatus that can be submerged in water, has sufficient resolution, and gives reproducible results. Some apparatus use a submersible spring-loaded LVDT gauge head for length change measurement.

X1.3.2. Appropriate signal conditioning equipment will be required if an LVDT or other electronic transducer is used for length change measurements. A voltmeter or a computer and data acquisition software may also be required if the signal conditioning equipment does not have a digital readout. The LVDT will require calibration using a micrometer to relate the digital readout output (which may be in volts or arbitrary units) to actual length changes.

X1.3.3. The contact tip (at the point of contact between the measuring device and the specimen) must be attached to the length change measuring device with a suitable adhesive to prevent loosening during a test.

Continuación del anexo 6.

X2.	REFERENCE TEST FOR DETERMINATION OF CORRECTION FACTOR
X2.1.	The test procedure described in Section 7.2 is used to determine a correction factor to account for expansion of the measuring apparatus during the test. A specimen with a known coefficient of thermal expansion is used. The specimen should be composed of a material which is essentially linearly elastic, noncorroding, non-oxidizing, and nonmagnetic, and should have a thermal coefficient as close as possible to that of concrete (304 stainless steel, which has a CTE of $17.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, is a suitable material). The reference material sample should also be of the same nominal dimensions as the test samples, so that no adjustment of the frame and/or the LVDT is necessary between calibration and testing.
X2.2.	<i>Calculation of the Correction Factor:</i>
X2.3.	Assuming that the length change of the apparatus varies linearly with temperature, the correction factor C_f is defined as: $C_f = \Delta L_f / L_{cs} / \Delta T \quad (X2.1)$ where: ΔL_f = length change of the measuring apparatus during temperature change, mm (see Equation X2.2); L_{cs} = measured length of calibration specimen at room temperature, mm; and ΔT = measured temperature change, $^{\circ}\text{C}$ (increase = positive, decrease = negative). $\Delta L_f = \Delta L_a - \Delta L_w \quad (X2.2)$ where: ΔL_a = actual length change of calibration specimen during temperature change, mm (see Equation X2.3); and ΔL_w = measured length change of calibration specimen during temperature change, mm (increase = positive, decrease = negative). $\Delta L_w = L_{cs} \times \alpha_c \times \Delta T \quad (X2.3)$ where: α_c = CTE of calibration specimen, $^{\circ}\text{C}$ (known). Note X1 —It is recommended that at least three calibration tests be performed, and that the average of the correction factors calculated for each test be used for calculations on actual concrete tests.

Fuente: SHIN, Hak-Chul y CHUNG, Yoonseok. Determination of Coefficient of Thermal Expansion Effects on Louisiana's PCC Pavement Design. Department of Civil and Environmental Engineering Louisiana State University, diciembre 2011. Consulta: 3 de febrero del 2013. Disponible en Web : <http://www.ltrc.lsu.edu/pdf/2011/fr_451.pdf> p. 10.