



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

**CONTROL DE CALIDAD EN EL MATERIAL SELLANTE PARA  
JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

**Amalia Xiomara Morales Ramírez**  
**Asesorada por el Ing. Hugo Rolando Bosque Morales**

**Guatemala, octubre de 2006**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONTROL DE CALIDAD EN EL MATERIAL SELLANTE PARA  
JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**AMALIA XIOMARA MORALES RAMÍREZ**  
Asesorada por: Ing. Hugo Rolando Bosque Morales

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivone Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Inga. Blanca Celia Prado
EXAMINADOR	Ing. Carlos Hermosilla Estacuy
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
SECRETARIA	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **CONTROL DE CALIDAD EN EL MATERIAL SELLANTE PARA JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha de 21 de febrero de 2002.

**AMALIA XIOMARA MORALES RAMÍREZ**

Guatemala, 11 de mayo de 2,004.

Ingeniero  
Francisco Javier Quiñónez  
Coordinador Área de Materiales  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Ing. Quiñónez:

Por medio de la presente informo a usted que he revisado el trabajo de graduación titulado "CONTROL DE CALIDAD EN EL MATERIAL SELLANTE PARA JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO", el cual fue presentado por la estudiante universitaria **Amalia Xiomara Morales Ramírez**.

El trabajo aporta importantes resultados, así como conclusiones y recomendaciones en lo que se refiere a los métodos de ensayos que evaluarán las propiedades físicas del sello de juntas, considerándolo de suma importancia para esta Facultad.

Por lo que me permito recomendar su aprobación, considerándome responsable del contenido.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de Ud.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Hugo B. Bosque  
ASESOR - INVESTIGADOR.



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



Guatemala, 19 de mayo de 2004

Ing. Carlos Salvador Gordillo  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Gordillo,

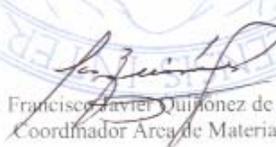
Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **CONTROL DE CALIDAD EN EL MATERIAL SELLANTE PARA JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**, elaborado por la estudiante universitaria **Amalia Xiomara Morales Ramírez**, quien contó con la asesoría del Ing. Hugo Rolando Bosque

Considero que el trabajo desarrollado por la estudiante **Morales Ramírez**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS.

  
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales



c.c.: Archivo.

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. Hugo Rolando Bosque Morales y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación de la estudiante Amalia Xiomara Morales Ramírez, titulado CONTROL DE CALIDAD EN EL MATERIAL SELLANTE PARA JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

a.i. Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez



Guatemala, octubre 2006.

/bbdeb.

"TODO POR TI CAROLINGUA MIA"

Dr. Carlos Martínez Durán, 2006 centenario de su nacimiento

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

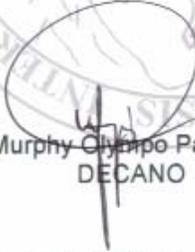


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.430.2006

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: **CONTROL DE CALIDAD EN EL MATERIAL SELLANTE PARA JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**, presentado por la estudiante universitaria **Amalia Xiomara Morales Ramírez**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Champo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, Octubre 26 de 2006

/gdech

Todo por ti, Centenario Mío  
Dr. Carlos Martínez Durán  
2008: Centenario de su Nacimiento

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	VII
<b>GLOSARIO</b>	IX
<b>RESUMEN</b>	XI
<b>OBJETIVOS</b>	XIII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XV
<b>1. JUNTAS EN LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO</b>	<b>1</b>
1.1 Pavimentos de concreto hidráulico	1
1.2 Diseño de juntas	2
1.3 Efectividad de las juntas	3
1.3.1 Agregado de trabe	5
1.3.2 Subbases estabilizadas	5
1.3.3 Transferencia mecánica de cargas	6
1.4 Tipo de juntas	8
1.4.1 Juntas transversales de contracción	9
1.4.1.1 Diseño	9
1.4.1.1.1 Espaciamiento	9
1.4.1.1.2 Juntas inclinadas o con esviaje	10
1.4.1.2 Construcción	11
1.4.2 Juntas transversales de construcción	11
1.4.2.1 Diseño	12
1.4.3 Juntas transversales de aislamiento	12
1.4.3.1 Diseño	12
1.4.3.2 Construcción	13
1.4.4 Juntas transversales de expansión	14
1.4.5 Juntas longitudinales de construcción	14
1.4.5.1 Diseño	14
1.4.6 Juntas longitudinales de contracción	15
1.4.6.1 Diseño	16
1.5 Selladores de juntas	16
1.5.1 Materiales sellantes	17
1.5.1.1 Sellante líquido	19
1.5.1.1.1 Sellante vertido en frío	20
1.5.1.1.2 Sellante vertido en caliente	21

	1.5.1.2 Sellos preformados	21
	1.5.1.3 Cordones de respaldo	22
1.6	Diseño de la caja de la junta	24
	1.6.1 Caja para selladores líquidos (factor forma)	25
	1.6.2 Caja para selladores preformados	27
1.7	Construcción de la caja	27
1.8	Limpieza y sellado de las juntas	28
1.9	Fisuras	29
1.10	Deficiencia de juntas	30
	1.10.1 Deficiencia en el material sellante	30
	1.10.2 Despostillamiento	31
<b>2.</b>	<b>APLICACIÓN EN FRÍO PARA SELLANTES DE UN SOLO COMPONENTE, SILICÓN QUÍMICAMENTE CURADO (ASTM D 5893-96)</b>	<b>33</b>
2.1	Requerimientos generales	33
2.2	Muestreo	33
2.3	Requerimientos físicos	33
2.4	Método de ensayo	34
	2.4.1 Evaluación de propiedades reológicas	34
	2.4.1.1 Sellante tipo self-leveling (ASTM C 639)	34
	2.4.1.2 Sellante tipo non-sag (ASTM D 2202)	35
	2.4.2 Tasa de extrusión (ASTM C 1183)	36
	2.4.3 Período <i>tack-free</i> (ASTM C 679)	37
	2.4.4 Efecto de envejecimiento por calor (ASTM C 792)	38
	2.4.5 Ligazón	39
	2.4.5.1 Preparación de los bloques (ASTM D 1985)	39
	2.4.5.2 Preparación de la probeta	40
	2.4.5.3 Ensayo	41
	2.4.6 Dureza (ASTM C 661)	42
	2.4.7 Flujo (ASTM D 5329)	43
	2.4.8 Efectos de aceleración climatológica (ASTM C 793)	44
	2.4.9 Resilencia	45
	2.4.10 Propiedades del caucho en tensión (ASTM D 412 método A)	46
	2.4.10.1 Preparación de la probeta	46
	2.4.10.2 Ensayo	48
2.5	Precauciones en el uso y aplicación de sello de juntas	49

<b>3.</b>	<b>SELLANTES TIPO ELÁSTICO, APLICADO EN CALIENTE (ASTM D 1190-97)</b>	<b>51</b>
3.1	Requisitos generales	51
3.2	Muestreo y calentamiento (ASTM D 5167)	51
3.2.1	Muestreo	51
3.2.2	Calentamiento	51
3.2.3	Punto de vaciado	52
3.3	Método de ensayo	53
3.3.1	Penetración no sumergida (ASTM D 5329)	53
3.3.2	Ligazón no sumergida (ASTM D 5329)	54
3.3.2.1	Preparación de probeta	54
3.3.2.2	Extensión a baja temperatura	55
3.3.2.3	Compresión	55
3.3.2.4	Reextensión a baja temperatura y recompresión	56
3.3.2.5	Evaluación del ensayo	56
3.3.3	Flujo (ASTM D 5329)	56
3.4	Precauciones en el uso y aplicación de sello de juntas	57
3.4.1	Control de temperatura	57
3.4.2	Cordón de respaldo	57
3.4.3	Sellado y resellado de juntas	57
<b>4.</b>	<b>SELLANTES TIPO ELASTOMÉRICO, APLICADO EN CALIENTE (ASTM D 3406-95)</b>	<b>59</b>
4.1	Requerimientos generales	59
4.2	Temperatura de seguridad de calentamiento	59
4.3	Muestreo y calentamiento (ASTM D 5167)	59
4.3.1	Muestreo	59
4.3.2	Calentamiento	60
4.4	Método de ensayo	60
4.4.1	Penetración no sumergida (ASTM D 5329)	60
4.4.2	Flujo (ASTM D 5329)	61
4.4.3	Ligazón no sumergida (ASTM D 5329)	61
4.4.4	Ligazón sumergida en agua (ASTM D 5329)	61
4.4.5	Resilencia (ASTM D 5329)	62
4.4.5.1	Preparación de la probeta (ASTM D 5167)	62
4.4.5.2	Procedimiento	62
4.4.6	Resilencia por envejecimiento de horno (ASTM D 5329)	63

4.4.6.1	Procedimiento	64
4.4.7	Condiciones climáticas artificiales (ASTM D 5329)	64
4.4.8	Tensión adhesión	67
4.4.9	Flexibilidad (ASTM D 5329)	67
4.5	Precauciones en el uso y aplicación de sello de juntas	67
4.5.1	Control de temperatura	67
4.5.2	Sellado y resellado de juntas	68
4.5.3	Cordón de respaldo	68
4.5.4	Colocación en obra	68
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	<b>69</b>
5.1	Estimación de costo de ensayo	70
5.1.1	Equipo	70
5.1.2	Gastos administrativos	70
5.2	Análisis de costo, aplicación en frío	71
5.2.1	Evaluación de propiedades reológicas	71
5.2.1.1.	Sellante tipo self-leveling (ASTM C 639)	71
5.2.1.2	Sellante tipo non-sag (ASTM D 2202)	71
5.2.2	Tasa de extrusión (ASTM C 1183)	72
5.2.3	Flujo (ASTM D 5329)	72
5.2.4	Período tack-free (ASTM C 679)	73
5.2.5	Propiedades del caucho en tensión (ASTM D 412 método A)	73
5.2.6	Dureza (ASTM C 661)	74
5.2.7	Ligazón sumergida en agua (ASTM D 5329)	75
5.2.8	Ligazón no sumergida (ASTM D 5329)	76
5.2.9	Ligazón por envejecimiento por horno	77
5.2.10	Resilencia	78
5.3	Análisis de costo a sellante tipo elástico, aplicado en caliente	79
5.3.1	Penetración no sumergida (ASTM D 5329)	79
5.3.2	Flujo (ASTM D 5329)	79
5.4	Análisis de costo a sellantes tipo elastomérico, aplicación en caliente	80
5.4.1	Penetración no sumergida (ASTM D 5329)	80
5.4.2	Flujo (ASTM D 5329)	80
5.4.3	Ligazón no sumergida (ASTM D 5329)	81
5.4.4	Ligazón sumergida en agua (ASTM D 5329)	82
5.4.5	Resilencia	83
5.4.6	Resilencia por envejecimiento por horno ASTM D	83

5329)		
5.4.7	Tensión adhesión	84
5.4.8	Flexibilidad (ASTM D 5329)	85
<b>CONCLUSIONES</b>		87
<b>RECOMENDACIONES</b>		89
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		91
<b>APÉNDICE</b>		
	Proforma de equipo para la construcción	94
	Proforma de equipo de laboratorio	95
	Proforma de equipo de laboratorio marca <i>Humboldt USA</i>	96
	Proforma de material para laboratorio	97
	Cotización de <i>laboratory conditioning chamber</i> (G212D1)	98
	Cotización de <i>tensile tester</i>	99



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Junta en pavimento de concreto	2
2	Efectividad de la transferencia de carga	4
3	Epóxico derramado	7
4	Disco retenedor	8
5	Tipos de juntas en pavimentos de concreto	9
6	Esquema de grieta inducida	11
7	Junta transversal de aislamiento	13
8	Perdida de apoyo estructural del pavimento	17
9	Colocación del cordón de respaldo en la junta longitudinal	23
10	Estiramiento de la fibra extrema del sellador en varios factores de forma	26
11	Colocación del sello de neopreno	29
12	Boquilla de metal	36
13	Probeta	41
14	Durómetro	43
15	Forma del troquel tipo C	47
16	Penetrómetro de cono	53
17	Colocación de tiras espaciadoras	54

### TABLAS

I	Descripción y especificaciones para materiales sellantes	18
II	Clasificación de los niveles de módulo de los selladores de silicón	20
III	Tamaños recomendados para sellos de compresión preformado	22
IV	Tamaños recomendados para cordones de respaldo	23
V	Valores típicos de coeficiente de expansión térmica	25
VI	Valores típicos de coeficiente de contracción	25
VII	Niveles de severidad de las fisuras	30
VIII	Severidad de la deficiencia en el material sellante	30
IX	Grado de severidad del despostillamiento	32
X	Grado del agregado	40
XI	Dimensiones del troquel tipo C	47
XII	Análisis de costo <i>self-leveling</i>	71
XIII	Análisis de costo <i>non-sag</i>	71

XIV	Análisis de costo de tasa de extrusión	72
XV	Análisis de costo de flujo	72
XVI	Análisis de costo de período <i>tack-free</i>	73
XVII	Análisis de costo de las propiedades del caucho	73
XVIII	Análisis de costo de dureza	74
XIX	Análisis de costo de ligazón sumergida en agua	75
XX	Análisis de costo de ligazón no sumergida	76
XXI	Análisis de costo de ligazón por envejecimiento por horno	77
XXII	Análisis de costo de resiliencia	78
XXIII	Análisis de costo de penetración no sumergida	79
XXIV	Análisis de costo de flujo	79
XXV	Análisis de costo de penetración no sumergida	80
XXVI	Análisis de costo de flujo	80
XXVII	Análisis de costo de ligazón no sumergida	81
XXVIII	Análisis de costo de ligazón sumergida en agua	82
XXIX	Análisis de costo de resiliencia	83
XXX	Análisis de costo de resiliencia por envejecimiento por horno	83
XXXI	Análisis de costo de tensión-adhesión	84
XXXII	Análisis de costo de flexibilidad	85
XXXIII	Costo de implementación de ensayos	86
XXXIV	Proforma de equipo para la construcción	94
XXXV	Proforma de equipo de laboratorio	95
XXXVI	Proforma de equipo de laboratorio marca <i>Humboldt USA</i>	96
XXXVII	Proforma de material para laboratorio	97
XXXVIII	Cotización de <i>laboratory conditioning chamber (G212D1)</i>	98
XXXIX	Cotización de <i>tensile tester</i>	99

## GLOSARIO

<b>Curado</b>	Proceso por el que un compuesto alcanza las propiedades queridas a través de la evaporación, reacción química, calor, radiación, o combinaciones anteriores.
<b>Elastomérico</b>	Material macromolecular que rápidamente retorna aproximadamente las dimensiones iniciales y forma.
<b>Máxima temperatura de calentamiento</b>	Temperatura a la que un sellante aplicado en caliente puede ser calentado mientras se conforman todos los requerimientos especificados y resulta en características apropiadas de aplicación.
<b>Mínima temperatura de calentamiento</b>	Es la temperatura a la que el sellante aplicado en caliente debe ser calentado mientras se conforman todos los requerimientos especificados.
<b>Penetración</b>	Es la consistencia de un material bituminoso expresada como la distancia en decimos de un milímetro (0.1 mm)
<b>Resilencia</b>	Medida de las características del rebote para los materiales elastoméricos.

<b>Reología</b>	Ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia.
<b>Sellante aplicado en caliente</b>	Compuesto aplicado en estado de fundición y curado principalmente al ser refrescado a temperatura ambiente.
<b>Sellante curado químicamente</b>	Compuesto que se cura principalmente a través de la reacción química.
<b>Sellante</b>	Material con propiedades de adhesivo y cohesivo para sellar juntas, rajaduras u otras aberturas angostas, generalmente menores a 76 mm de ancho, su función en el pavimento es evitar la entrada o el paso de agua u otro escombros.

## RESUMEN

El pavimento rígido está compuesto de losas de concreto hidráulico que en algunos casos presentan armado de acero, requiriendo un mantenimiento mínimo que se realiza comúnmente en las juntas de las losas, las cuales permiten los movimientos de retracción y dilatación del concreto, además de una adecuada transferencia de carga entre placas contiguas, manteniendo la uniformidad de las superficies.

Las juntas generan en el pavimento discontinuidades estructurales y superficiales. La discontinuidad estructural se atiende con ayuda de elementos para la transferencia de cargas, mientras que la discontinuidad superficial se atiende sellando las juntas superficialmente.

El objetivo del sellado de juntas es minimizar la infiltración del agua superficial y de materiales incompresibles al interior de la junta. El mercado ofrece una basta gama de materiales para la realización de las juntas, tanto moldeados en el campo (líquido) como preformados (por compresión) siendo estos menos utilizados en función de su poca practicabilidad que ofrecen.

Este trabajo de graduación, presenta los parámetros para diseñar las juntas por el método PCA y las propiedades físicas que debe cumplir el material sellante bajo métodos de ensayo regidos por las normas ASTM. Ya sea su aplicación en frío para sellantes de silicón, ASTM D 5893 - 96, o aplicado en caliente para sellantes tipo elástico, ASTM D 1190 - 97, o para el tipo elastomérico, ASTM D 3406 - 95. Acá, se propone los ensayos que pueden ser factibles realizarlos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones, presentando una tabla tarifária de cada uno de estos ensayos.



## OBJETIVOS

- **General**

Proporcionar la información necesaria para la implementación de equipo, en el laboratorio de Mecánica de Suelos, para ensayar los materiales sellantes que se aplican en las juntas de los pavimentos de concreto hidráulico, a través de los métodos especificados por la ASTM.

- **Específicos**

1. Determinar los ensayos ha realizar en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII, con el equipo existente.
2. Presentar un manual que describa los métodos de ensayos que evalúen las propiedades físicas que ha de cumplir el material sellante bajo las normas ASTM.
3. Determinar el costo de los ensayos, bajo las normas ASTM, para el CII.
4. Proponer la compra del equipo necesario, para realizar los ensayos de control de calidad de los materiales sellantes, bajo normas ASTM.
5. Proponer nuevas fórmulas para el mejoramiento de las propiedades físicas de los sellantes, basándose en la investigación y los ensayos realizados en el Laboratorio de Suelos.



## INTRODUCCIÓN

En un pavimento de concreto uno de los aspectos a considerar es la construcción de juntas, ya que éstas permiten los movimientos de la losa, controlando así las grietas longitudinales y transversales surgidas de los efectos combinados de la retracción por el secado del concreto, causados por los cambios de temperatura y humedad, la fricción entre la losa y la base, debido a las cargas aplicadas por el tráfico y las características propias del concreto.

La construcción de juntas generan en el pavimento discontinuidades estructurales y superficiales. La primera discontinuidad se atiende con ayuda de elementos para la transferencia de cargas; la segunda discontinuidad se atiende sellando las juntas superficialmente.

Un mal material sellante provocaría la infiltración de agua, lo cual ablandaría la subrasante o la subbase, perdiendo apoyo estructural el pavimento. Además, provocaría el ingreso de materiales incompresibles, provocando el descascamiento del pavimento y en caso extremo producir roturas en la losa.

Ya que el material sellante tiene mucha importancia para el período de vida del pavimento, es necesario llevar el control de calidad del mismo, por lo que acá se presentan los métodos de ensayos necesarios a los que han de ser sometidos los sellantes para evaluar sus propiedades físicas. Evaluaciones establecidas por la *American Society for Testing and Materials*, ASTM.

Los sellantes al ser vertidos en el pavimento pueden ser aplicados en frío o en caliente. Entre los sellantes aplicados en frío ha ensayar está el silicón, evaluado bajo la norma ASTM D 5893 - 96, y entre los sellantes aplicados en caliente está el sellantes tipo elástico y el sellante tipo elastomérico. El primero de éstos se evalúa bajo la norma ASTM D 1190 - 97 y el segundo bajo la norma ASTM D 3406 - 95. Estableciendo una tabla tarifaría de los ensayos que son factibles realizarlos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones.

# **1. JUNTAS EN LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO**

## **1.1 Pavimentos de concreto hidráulico**

Un pavimento de concreto de cemento hidráulico, con o sin refuerzo, se diseña y construye para resistir las cargas e intensidad del tránsito. Teniendo un costo inicial más elevado que el flexible, su período de vida varía entre 20 y 40 años, requiriendo un mantenimiento mínimo que se realiza comúnmente en las juntas de las losas. Existen varios tipos de pavimentos rígidos, que pueden dividirse en pavimentos de concreto simple y pavimentos continuamente reforzados con barras de acero. Los pavimentos de concreto simple pueden construirse con juntas con o sin barras de transferencia, en ambos las losas deben ser de tres a seis metros.

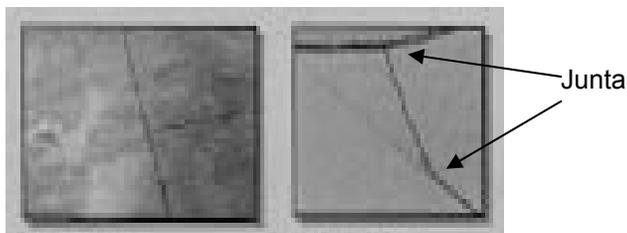
La práctica precedió con ventaja a la investigación de métodos de análisis racionales del comportamiento de la estructura vial, contándose solo con el juicio del ingeniero para su construcción. Posteriormente, las investigaciones a nivel teórico y de laboratorio, los ensayos viales y las observaciones de campo, han ido determinado la estructuración de métodos de diseño y construcción, para crear pavimentos de concreto más eficientes, adaptándolos a las condiciones de clima y tránsito de cada región.

Uno de los factores que se consideran en la construcción del pavimento rígido es el diseño de juntas, con el objeto de controlar la fisuración del concreto y mantener tanto la capacidad estructural como la calidad del pavimento con un bajo costo anual.

## 1.2 Diseño de juntas

Las juntas son detalles constructivos que controlan las grietas longitudinales y transversales surgidas de los efectos combinados de la retracción por secado del concreto, causados por los cambios de temperatura y humedad, la fricción entre la losa y la base, debido a las cargas aplicadas por el tránsito y de las características propias del concreto.

**Figura 1. Junta en pavimento de concreto**



Fuente: Av. Petapa zona 12. Guatemala

La función de las juntas es permitir los movimientos de la losa, mantener la transferencia de cargas deseables, dividir el pavimento en tramos lógicos para la construcción y proveer una caja para el material de sello. Figura 1.

Al diseñar las juntas se deben considerar los siguientes factores:

- **Condiciones ambientales:** los cambios de temperatura y humedad inducen movimientos en las losas generando concentración de esfuerzos, ondulaciones y alabeo.
- **Espesor de la losa:** influye en los esfuerzos, generado por el alabeo, y las deflexiones.
- **Transferencia de carga:** su magnitud varia para cada tipo de junta y a la longitud y diámetro del dispositivo mecánico que se utilice.

- **Características de los materiales que constituyen el concreto:** el material seleccionado determina el movimiento de las losas, lo que conlleva que en las juntas ocurran descascaramientos por la intrusión de materiales duros a lo largo de ellas, cuando son de mala calidad.
- **Tipo de subbase:** el valor de soporte y las características de fricción de la interfase afectan el movimiento y el soporte de las losas.
- **Características del sellante:** su elección depende de la longitud de la losa, del factor de forma y del análisis del costo a lo largo de la vida útil.
- **Diseño de la berma:** el tipo de berma (de concreto unida al pavimento, asfáltica, granular o de tierra), la presencia o no de sobrecargos afecta el soporte lateral y la capacidad de las juntas para mantener la transferencia de cargas.
- **Tránsito**

### 1.3 Efectividad de las juntas

La efectividad de la junta, ecuación 1, es un factor que mide la capacidad que tiene una junta de transferir algo de la carga de un lado de la junta a otro, en porcentaje.

$$E = \frac{2d_d}{d_d + d_c} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

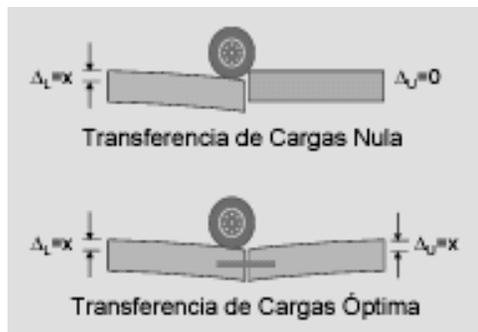
E = efectividad de la junta

$d_d$  = deflexión de la losa no cargada (descargada)

$d_c$  = deflexión en la losa cargada

Si la efectividad de la junta es del 100%, esta es capaz de transmitir la mitad de la carga aplicada, pero si es 0% de efectividad indica que no existe transferencia de carga a través de la junta, figura 2; las evaluaciones *in situ* de la transferencia de cargas se hacen midiendo las deflexiones en cada lado de la junta en donde se aplica la carga.

**Figura 2. Efectividad de la transferencia de carga**



Fuente. [www.superestrada.com.br](http://www.superestrada.com.br)

Una adecuada transferencia de cargas disminuye las deflexiones, reduce el escalonamiento, el descascaramiento y las fisuras de esquina. Una efectividad del 75% o más, se considera adecuada para cargas de tránsito medias y pesadas.

Existen dos tipos de transferencia de carga, la primera desarrolla resistencia al corte, pero poca o ninguna resistencia a las deflexiones, y la segunda desarrolla resistencia al corte y a la deflexión, utilizando barras de acero.

Entre los factores que influyen en la transferencia de carga están: el agregado de trabe, la subbase estabilizada y los dispositivos mecánicos.

### **1.3.1 Agregado de trabe**

Las caras fracturadas de las fallas que se forman debajo de la ranura aserrada de la losa, al construir la junta, proveen suficiente trabe entre los agregados como para transferir cargas en losas cortas y volúmenes de tránsito entre 80 a 120 vehículos por día; variando el rango según el tipo de agregado y las condiciones de soporte. La transferencia de carga depende del tamaño de los agregados, los menores de 12.5 mm proveen una transferencia marginal y los mayores de 25 mm mantienen la transferencia de carga, cuando la abertura de las juntas es grande. Casi siempre el comportamiento del agregado triturado es mejor que el de gravas naturales, por crear una junta rugosa.

### **1.3.2 Subbases estabilizadas**

Son utilizadas para reducir la deflexión potencial de la junta bajo cargas repetitivas, a través del aumento en la capacidad de soporte, y proveen una buena plataforma para la circulación vehicular. La estabilización con cemento o concreto pobre producen gran soporte para las losas, reduciendo las deflexiones e incrementando la resistencia a la fatiga, aumentando al doble la efectividad de las juntas cuando la base es estabilizada. Al suceder la pérdida de transferencia de carga lentamente, se pierde aproximadamente la mitad al millón de cargas, aunque éstas pueden inducir agrietamientos no controlados, debido a la extrema fricción que ocurre entre la sub-base y la losa, la cual restringe los cambios volumétricos del concreto, induciendo a altos esfuerzos, iniciándose las grietas en la base de la losa, viajando erráticamente hasta su superficie, por lo que la *American Concrete Pavement Association, ACPA*, recomienda la aplicación de curadores sobre la subbase antes de colocar el pavimento cuando son tratadas con cemento.

### **1.3.3 Transferencia mecánica de cargas**

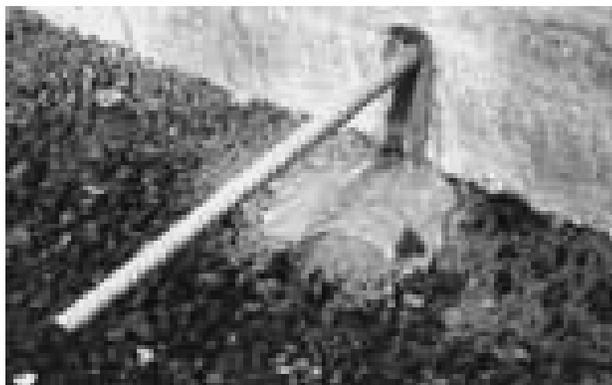
Los dispositivos mecánicos deben ser de diseño sencillo, para una instalación práctica, con capacidad de distribuir las tensiones de carga a través del concreto adyacente, debiendo ser de materiales que no tengan restricciones en la abertura de la junta, además, poseer estabilidad mecánica bajo el peso de los neumáticos y resistentes a la corrosión. Entre estos dispositivos están las dovelas, que aumentan mecánicamente la transferencia de carga cuando el volumen excede a los 120 vehículos pesado por día, o a un tráfico acumulado de cuatro o cinco millones de ejes equivalente de 82 kN, exigiendo losas mayores de 200 mm de espesor.

Las dovelas son barras sencillas de acero que cumplen con las especificaciones ASTM A 615. Su función es resistir los esfuerzos de corte producidos por la carga de la junta. Independientemente de la longitud de las losas las dovelas reducen las deflexiones, los esfuerzos en el concreto, el potencial de escalonamiento, el bombeo y las fallas de esquina; incrementando así la vida útil del pavimento. Se instalan en la mitad del espesor de las losas con un espaciamiento de 300 mm entre los centros. Con espaciamientos no uniformes se puede lograr un buen comportamiento, cuando se trata de dovelas gruesas y losas cortas. Sin embargo, si están mal alineadas o son de insuficiente diámetro y/o longitud, o bien se corroen, éstas impiden el movimiento normal de las juntas, provocando fisuras próximas a la junta transversal, a una distancia de 0.20 a 0.40 metros.

Para pavimentos de 250 mm de espesor se recomiendan dovelas con diámetros de 31 mm, y de 38 mm para pavimentos con espesores de más de 250 mm.

Las dovelas de diámetros pequeños, inducen altos esfuerzos entre el concreto y ella, causando el desprendimiento del concreto alrededor de la dovela, deterioros o elongación, que reduce la transferencia de carga. La longitud de las dovelas están comprendidas en el rango de 300 a 450 mm, utilizándose las más cortas en losas cortas y las de mayor longitud en losas largas; la longitud de las dovelas debe ser de 12 veces su diámetro más 50 mm para tener en cuenta las tolerancias constructivas. Cada una de estas barras debe estar cubierta por lo menos a la mitad con una capa de revestimiento de plomo o alquitrán. En el momento de la instalación, muchos trabajadores no ponen adhesivo dentro del agujero antes de instalar la varilla, en lugar de ello, hunden la varilla en un depósito con componente epóxico, mezclándolo manualmente, a 15 ó 20 rpm, olvidando la recomendación del fabricante de mezclarlo con un taladro de paleta a 400 ó 600 rpm e insertarlo en el agujero. Así, en lugar de tener un color gris uniforme, el epóxico mezclado tiene la apariencia de una cebra. Aunque algo de resina puede adherirse fuertemente a la varilla, la mayoría es raspada en la entrada del agujero y cae en el suelo, figura 3.

**Figura 3. Epóxico derramado**



Fuente: [www.lilycorp.com](http://www.lilycorp.com)

El producto final resulta ser un buen lubricante pero un mal adhesivo. Aunque esto es fácil de resolver utilizando un dispensador que instale repetidamente un volumen preciso de epóxico, para asegurar la cantidad correcta de material. Con el deslizamiento de un disco retenedor sobre la dovela, se evita la salida del material del agujero, figura 4.

#### **Figura 4. Disco retenedor**



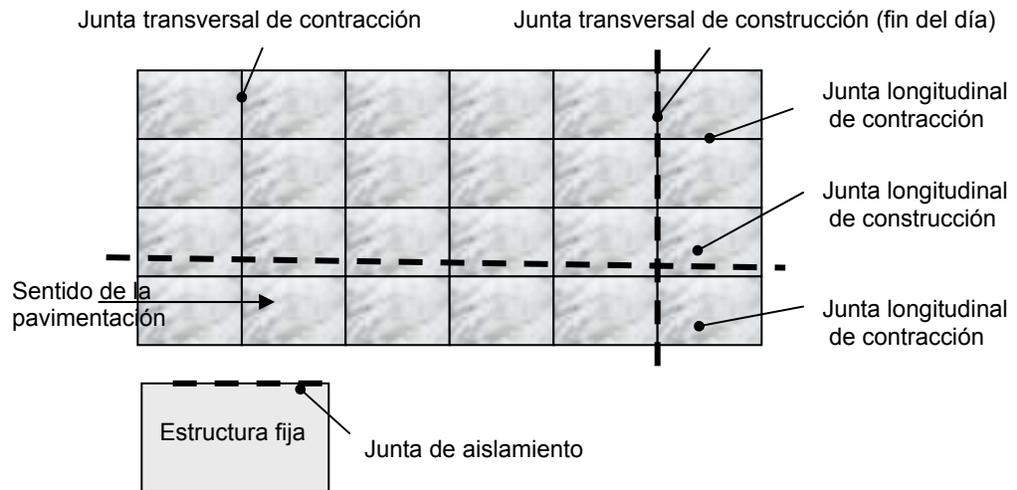
Fuente: [www.lilvcorp.com](http://www.lilvcorp.com)

Para evaluar si la practica se realizo correctamente se sacan núcleos de dos pulgadas de diámetro, que se toman desde la superficie de la losa interceptando las barras a distancias aleatorias. Si la varilla está completamente encapsulada con el epóxico adecuadamente curado, el núcleo se partirá cerca de la línea de unión, entre el concreto y el epóxico. Si existe un vacío entre el concreto y la dovela, el núcleo mostrará la pared interior limpia del agujero, si el adhesivo está pegajoso, se encontrarán remanentes de éste en el extremo del núcleo.

### **1.4 Tipo de juntas**

Las juntas se clasifican en juntas transversales y longitudinales, las cuales a su vez se dividen en contracción, construcción y de aislamiento. En la figura 5 se presenta un croquis de la vista en planta de la ubicación de las juntas en un pavimento de concreto.

**Figura 5. Tipos de juntas en pavimentos de concreto**



### 1.4.1 Juntas transversales de contracción

Estas juntas se construyen transversalmente al eje central del pavimento y están debidamente espaciadas para controlar las fisuras, que en la mayoría de los casos ocurre a edad temprana de la fundición de la losa por cambio de temperatura y pérdida de agua en la mezcla, y por efectos de las contracciones posteriores.

#### 1.4.1.1 Diseño

##### 1.4.1.1.1 Espaciamiento

En la práctica se dimensiona la separación entre juntas transversales, en base a la experiencia sobre el comportamiento del pavimento local en servicio. Mientras que los estudios teóricos y prácticos han determinado que el espaciamiento óptimo depende de la resistencia del concreto, la rigidez de la subbase o subrasante, espesor de la losa de concreto y propiedades del material sellador de juntas.

La ACPA recomienda un espaciamiento máximo de 24 veces el espesor de la losa para sub-bases granulares, y un espaciamiento máximo de 21 para sub-bases estabilizadas. La PCA recomienda para pavimentos de concreto simple con refuerzo en las juntas una distancia de 4.5 m hasta 7.5 m, siendo de uso común seis metros. Para losas reforzadas el espaciamiento máximo es de nueve metros. Las losas largas tienen tendencia a desarrollar fisuras en la mitad de la losa, causadas por el rompimiento del acero de refuerzo, y aumentan el escalamiento cuando supera los nueve metros. Exigiendo un mejor comportamiento del sellante.

#### **1.4.1.1.2 Juntas inclinadas o con esviaje**

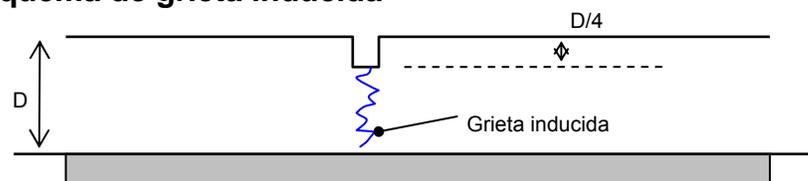
Algunos recomiendan cortar las juntas con esviaje para ayudar a disminuir el impacto de las cargas dinámicas a través de las juntas, ya que eliminan el paso simultáneo de las ruedas del eje sobre la junta, reduciendo su deformación y esfuerzo, pero básicamente se utilizan en pavimentos sin dovelas y para tránsito reducido. Además, no sustituyen ningún mecanismo de transferencia de carga.

Estas juntas están inclinada 1/6; generando un ángulo obtuso, entre el borde del pavimento y la junta. De esta manera cada rueda del eje pasa por la junta en un tiempo distinto y como consecuencia de esto, los esfuerzos y las deflexiones en la junta se reducen y con ellos la posibilidad del bombeo. Algunas entidades viales recomiendan para tráficos pesados, pavimentos con juntas esviadas y dovela, asumiendo que su conjugación mejora la transferencia de cargas; sin embargo, no se ha detectado en los estudios, que esa suposición sea cierta.

### 1.4.1.2 Construcción

Se ejecutan de dos formas, la primera cuando el concreto esta fresco, donde se construye insertando una pletina por vibración de 4 a 6 mm de espesor, introducida a una altura de 1/4 del espesor del pavimento. Luego, se retira la pletina y se introduce una tablilla no absorbente, generalmente de fibrocemento u otro material que no reaccione con el concreto. La segunda forma es cuando el concreto esta endurecido, donde se aserra la superficie del pavimento con un ancho y profundidad indicada en los planos. El corte se realiza con un disco de diamante cuando el concreto tiene un cierto grado de endurecimiento y las contracciones son inferiores a aquellas que causan el agrietamiento, entre 4 a 6 h después de la construcción, a una profundidad de 1/4 del espesor de la losa, para permitir que en la parte inferior se genere una grieta que le permite transmitir fuerzas cortantes por la trabazón que existe en los agregados del concreto entre una losa y otra, figura 6.

**Figura 6. Esquema de grieta inducida**



Fuente : IMC

### 1.4.2 Juntas transversales de construcción

Son las juntas que se colocan al final de un día de pavimentación o por interrupción en los trabajos. Estas juntas se deben localizar y construir en el lugar planeado siempre que sea necesario; además, se deben construir perpendiculares al centro de la vía aún cuando las de contracción tengan esviaje.

### 1.4.2.1 Diseño

En el diseño, si es posible se hace coincidir las juntas de construcción con una de contracción, si no es posible, se recomiendan que la junta se empalme en el tercio medio de la placa con pasajuntas (acero liso). Ahora si se presenta en los dos primeros tercios de la separación normal de las juntas, la junta deberá ser endentada (machihembrada) con barras de amarre (acero corrugado), para prevenir que la junta no agriete la losa adyacente. Pero si coincide originalmente donde se planeo, se construye una junta de contracción o una junta de aislamiento, que se deberá sellar de acuerdo a las especificaciones de la junta originalmente planeada, con la excepción de que las juntas de construcción transversales no requieren de un corte inicial.

### 1.4.3 Juntas transversales de aislamiento

Aíslan el pavimento de una estructura o área pavimentada, disminuyendo esfuerzos a compresión que se presenten entre dos secciones; ocupando toda la profundidad y ancho de las estructuras fijas.

#### 1.4.3.1 Diseño

El diseño varia para cada estructura de la forma siguiente:

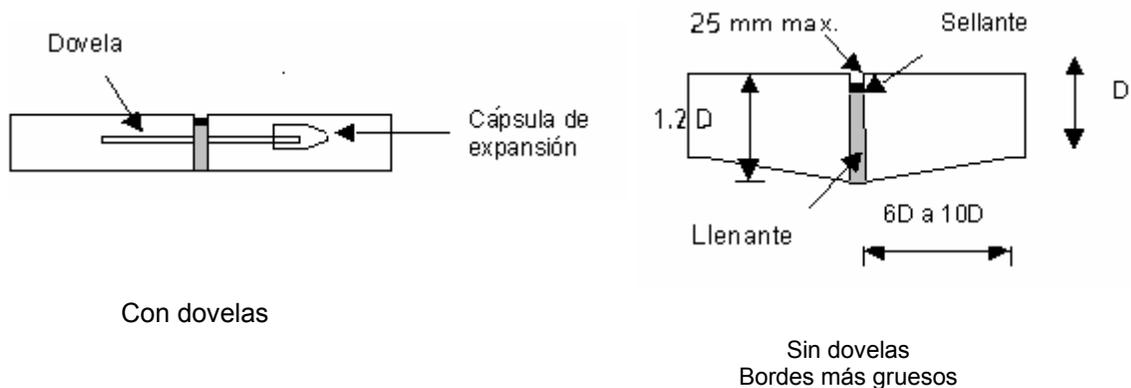
- **Intersecciones y rampas:** la junta no debe tener dovelas para permitir el movimiento horizontal diferencial y evitar el daño del pavimento colindante; en este caso se construye la losa aumentándole su espesor para absorber los esfuerzos de borde no transferidos.

- **Puente:** podría tener dovelas para incrementar la transferencia de carga y eficiencia de la junta.
- **Pozos de visita, alcantarillas, estructuras de alumbrado y edificios:** no tienen bordes ensanchados ni dovelas, debido a que éstas son colocadas alrededor de otros objetos y no requieren de transferencia de cargas.

### 1.4.3.2 Construcción

Las juntas de aislamiento tienen un ancho de 18 a 25 mm, tomando en cuenta que se generan movimientos excesivos, migración de losas, cuando el ancho de las juntas es grande; en estas juntas se coloca un sellador compresible que llene la caja de la junta, que no sea absorbente ni reactivo, normalmente es de cartón asfaltado tipo *fexpan* o *celotex*. Este material va desde el fondo de la junta hasta 25 mm por debajo de la superficie del pavimentos, figura 7; que se coloca mediante estacas en la base y una vez que el concreto ha endurecido se retirarán unos 20 mm del relleno para dejar espacio al sello de la junta respectiva.

**Figura 7. Junta transversal de aislamiento**



Fuente. IMC

Cuando una junta de aislamiento esta a menos de 30 m de distancia de una junta de contracción, a esta última se le debe colocar dovelas para garantizar la transmisión de cargas aunque las juntas se abran.

#### **1.4.4 Juntas transversales de expansión**

Se realizan cuando el pavimento es construido a temperatura ambiente inferior a los 4°C, o cuando las juntas de contracción permiten la infiltración de materiales incompresibles, cuando los materiales usados en el pavimento han mostrado en experiencias pasadas, notorias características expansivas. Sin embargo, bajo condiciones normales de trabajo las anteriores condiciones no aplican, haciendo innecesaria la utilización de estas juntas.

#### **1.4.5 Juntas longitudinales de construcción**

Estas juntas se realizan cuando los carriles se construyen con edades diferentes, o por las diferentes pasadas del tren de pavimentación, incluyendo las generadas por las líneas de servicio o bermas.

##### **1.4.5.1 Diseño**

El dimensionamiento recomendado para las placas de hormigón simple es la relación ancho y largo de 1:1.5. Existen organismos internacionales que sugieren placas de concreto aun menores, como la relación de 1:1.25; es decir, para placas con ancho de 3.6 m se tiene una longitud de 4.5 m. Para pavimentos armados esta relación es debida a asuntos de diseño.

La transferencia de carga en este tipo de juntas se puede dar a través de juntas endentadas, o por barras de transferencia de carga. Las juntas endentadas, pueden ser de forma trapezoidal o semicircular, aunque la tendencia actual es eliminarlas en pavimentos menores de 250 mm de espesor; basándose en las observaciones de pavimentos, en los cuales la junta ha fallado por esfuerzo a cortante, provocando la ruptura de la junta a lo largo de ella. Dichas fallas ocurren generalmente cuando el espigo de la junta es muy grande o está por encima de la mitad del espesor de la losa.

En las juntas endentadas se necesitan las barras de anclaje para mantener cerrada la junta longitudinal y garantizar que se dé la transferencia de carga, por lo que éstas deben cumplir con las mismas condiciones que las juntas longitudinales de contracción que se insertan en la concavidad de la junta.

Las barras de anclaje pueden aportar toda la transferencia de cargas, cuando no se utilizan juntas endentadas, ya que el tránsito vehicular casi nunca pasa por encima de estas juntas, por lo que no se necesitan dovelas para incrementar la capacidad estructural. Estas barras son delgadas de 12 a 15 mm, su espaciamiento se reduce a la mitad si se quiere tener una transferencia efectiva de las cargas y reduce los esfuerzos y la deflexión de las losas.

#### **1.4.6 Juntas longitudinales de contracción**

Estas juntas dividen los carriles y controlan el agrietamiento cuando se construyen dos o más carriles simultáneamente; o cuando los carriles tengan más de 4.5 m de ancho, amén que la experiencia local indique que el pavimento ha tenido un comportamiento satisfactorio en su estructura.

#### **1.4.6.1 Diseño**

Se realiza cortando el concreto 1/4 de espesor con un ancho de aserrado de 1/8" a 1/4"; el tiempo para hacer el corte inicial se recomienda dentro de las 48 horas posteriores a la construcción, para controlar el resquebrajamiento. Sin embargo, es buena práctica realizar el corte tan pronto como se pueda hacer.

La transferencia de cargas se logra en la junta, a través de la trabajabilidad de los agregados y la trabazón con las barras de acero, conservando la junta cerrada. Su espaciamiento varía con el espesor del pavimento y de la distancia de la junta más cercana al borde libre. Considerándose que no se deben insertar a menos de 400 mm de la junta transversal para evitar que interfieran con el movimiento de las juntas. Cuando se tienen juntas esviadas y si la longitud de las barras es superior a 800 mm, las barras se deben alejar mínimo 500 mm de la junta transversal más próxima.

#### **1.5 Selladores de juntas**

El objetivo del sellador es minimizar la infiltración del agua superficial y de materiales incompresibles al interior de la junta. Además de disminuir la corrosión de los dispositivos de transferencia de carga.

La infiltración de agua provoca un ablandamiento de la subrasante o de la subbase, perdiendo apoyo estructural el pavimento. En el caso de los materiales incompresibles, contribuiría al descascaramiento del pavimento y en caso extremo producir roturas en la losa, figura 8.

## **Figura 8. Pérdida de apoyo estructural del pavimento**



**Fuente: Av. Bolívar zona 8. Guatemala**

Para seleccionar el sellante se debe de considerar la separación y tipo de juntas, el medio ambiente, el dimensionamiento de la caja y el mantenimiento que se le debe realizar al sello ya aplicado. En juntas longitudinales el sellante no necesita ser tan elástico como para la junta transversal, ya que las juntas longitudinales están amarradas y prácticamente no tienen movimiento. Mientras que en las juntas transversales, los movimientos longitudinales inducen mayores estados de tensión y deformación en el sellador de los que se dan en las longitudinales, debiendo el sellante soportar estos esfuerzos.

### **1.5.1 Materiales sellantes**

El mercado ofrece una basta gama de materiales sellantes, tanto moldeados en campo, sello líquido, como preformados, por compresión. El excito de los selladores líquidos, depende de que la adherencia a las paredes de las juntas se mantenga por largo plazo y el de los selladores preformados depende del rechazo lateral a largo plazo.

En la tabla I se consignan las descripciones y especificaciones de algunos de los materiales disponibles en el mercado.

**Tabla I. Descripción y especificaciones para materiales sellantes**

Tipo del sellador	Especificación (es)	Propiedades
<b>Selladores vaciados en caliente</b>		
A base de asfalto poliméricos	ASTM D3405 ASTM D1190 AASHTO MO183 SS-S-1401 C	Autonivelante Autonivelante Autonivelante Autonivelante
Polímeros de bajo módulo	ASTM D3405	Autonivelante
Elastoméricos PVC alquitrán de hulla	ASTM D3406 SS-S-1614	Autonivelante Autonivelante
Elásticos	ASTM D1854	Resistente al combustible de avión
Elastoméricos PVC alquitrán de hulla	ASTM D3569 ASTM D3581	Resistente al combustible de avión
<b>Selladores de un solo componente vaciado en frío</b>		
Silicón	N.D	No se comba, trabajable, bajo módulo
Silicón	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo módulo
Silicón	N.D	Autonivelante (sin herramienta), muy bajo módulo
Sellador de goma de nitrilo	N.D	Autonivelante (trabajable), no se comba
Polisulfido	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo módulo
Polímeros de bajo módulo	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo módulo
<b>Selladores de dos componentes vaciados en frío</b>		
Polímeros elastoméricos	SS-S-200	Resistente al combustible de avión
<b>Policloropreno elastomérico preformado (sellos que se aplican comprimidos)</b>		
Sellos preformados	ASTM D2628 Lubricante Adhesivo	Resistente al combustible de aviones ASTM D2835
<b>Rellenos de juntas de expansión preformados</b>		
Rellenos preformados	ASTM D1751 AASHTO M213	Asfáltico, no extruído, elástico
Rellenos preformados	ASTM D1752 AASHTO M153	Esponja de goma, corcho
Rellenos preformados	ASTM D994 AASHTO M33	Asfáltico

**Fuente: ICPC**

Las propiedades del sellante depende de su aplicación y de las condiciones climáticas durante su instalación. Entre las propiedades a considerar incluyen:

- **Elasticidad:** capacidad de un sellador para volver a su forma original después de que se estire o se comprima.
- **Compatibilidad:** entre el sellador y el cordón de respaldo (*backer rods*).

- **Módulo:** cambio de las tensiones internas en un sellador mientras se está estirando, o comprimiendo, considerando un rango de temperaturas (rigidez de material). Un módulo bajo es deseable e importante en clima frío.
- **Adherencia:** la capacidad de un sellador para adherirse al concreto. La adherencia inicial es de igual importancia que la de largo plazo. No es aplicable a los sellos preformados que se aplican comprimidos.
- **Cohesión:** capacidad del sellante para resistir el desgarro causado por la tracción. No es aplicable a los sellos preformados que se aplican comprimidos.
- **Resistencia a los combustibles y al clima:** sobre todo a los rayos solares ultravioleta y el ozono.

#### 1.5.1.1 Sellante líquido

El sellante líquido se clasifica en termoplástico y termoestable. Los termoplásticos como el asfalto, se endurecen al perder el calor inicial que los mantuvo en el inicio en estado líquido o semilíquido; teniendo la desventaja de que con el tiempo y los cambios de temperatura, se cristaliza, perdiendo las características elásticas necesarias. Los sellos de fraguado térmico y curado químico, como el alquitrán de hulla con polisulfuros o poliuretanos, el metano y bicomponentes del epóxico, son catalizadores, que con el calor inicial dentro del material lo endurecen, auxiliados posteriormente por la humedad ambiente. Estos son de costos más elevados, pero más durables y más resistentes a la penetración, que permite mayores movimientos entre las juntas.

Para aplicar estos sellante no se instala en concreto que haya curado menos de 28 días. Aunque es preferible demorar la instalación del sellante de 60 a 90 días para que el concreto se encoja. El sellante líquido se puede verter en frío o caliente.

#### 1.5.1.1.1 Sellante vertido en frío

Entre los selladores vertidos en frío esta el silicón, de un componente simple que no requiere de mezcla ni calentamiento y que al ser aplicado cura en 30 min, complementándose con la humedad del aire, aunque también este proceso se ve afectado por las condiciones ambientales y especificaciones del fabricante, tales como, no ser aplicada cuando llueve o con temperaturas bajo el punto de rocío. Estos selladores son adecuados para climas con grandes diferencias de temperatura. La mayoría tiene un módulo elástico bajo, tabla II, que permite una buena recuperación de las deformaciones de tracción y compresión; pudiendo soportar, por lo menos, un 100% de extensión y un 50% de compresión sin sufrir daños.

**Tabla II. Clasificación de los niveles de módulo de los selladores de silicón**

Clasificación del módulo	Fuerza necesaria para un 150% de elongación	Elongación última
Alto	>0.7 MPa (100 Psi)	< 500%
Medio	0.28 - 0.7 MPa (40 - 100 Psi)	500 - 200%
Bajo	< 0.28 MPa (40 Psi)	> 1200%

Fuente: ICPC

#### **1.5.1.1.2 Sellante vertido en caliente**

Estos sellantes requieren una temperatura de calentamiento entre 175 a 200°C para su aplicación. Los fabricantes recomiendan derretir el material en calderas de tanque doble, equipado en su interior con un agitador, para la distribución uniforme de la temperatura, y el exterior lleno de aceite para evitar pérdidas de calor. Para el calentamiento se utiliza gas y no combustibles fósiles como madera, carbón, etc.; además, la caldera no debe tener contacto directo con el suelo. Para no perder la temperatura entre la caldera y la boquilla de eyección, se utilizan mangueras con aislamiento térmico.

#### **1.5.1.2 Sellos preformados**

Estos selladores vienen listos para su instalación; por lo que no necesitan calentarse, mezclarse, ni curarse en el terreno. Poseen la capacidad de sellar cuando hay presente mucha humedad. Proveen una efectiva reducción en astillamientos de las juntas de concreto y alta resistencia al combustible de los aviones de propulsión a chorro. Estos selladores están en compresión durante toda su vida útil. El neopreno es el componente principal, caucho sintético, que tiene la capacidad de presión, resiliente bajo compresión. El sello consiste en un perfil hueco de celdas múltiples que se puedan encoger en dirección perpendicular a su eje, a manera de fuelle, que genera la fuerza expansiva que mantiene al sellador contra las paredes de la caja de la junta.

Las dimensiones típicas del sello de neopreno, tabla III, se diseñan con respecto al ancho de la junta y el largo de la losa. Debiéndose considerar la temperatura de colocación.

**Tabla III. Tamaños recomendados para sellos de compresión preformado**

Longitud de losas	Ancho mínimo de las cajas de las juntas (mm)	Profundidad mínima de las cajas de las juntas (mm)	Ancho del sello en reposo (mm)
4.5	6	38	11
6.0	8	38	16
7.5	10	50	17
9.0	13	50	25

Fuente: ICPC

### 1.5.1.3 Cordones de respaldo

Estos cordones impiden que el sello líquido fluya hasta el fondo de la junta, evitando la adhesión del sello con el fondo de la caja. Incrementan las tensiones en el sellador y ayudan a definir el factor forma, optimizando la cantidad de sellador usado, por lo que se recomienda seguir las siguientes consideraciones:

- **Espuma de polietileno:** espuma de celdas cerradas; no absorbe el agua y es moderadamente compresible. Es más adecuada para los selladores de vertido en frío, ya que podría derretirse al contacto con los materiales de vertido en caliente.
- **Espuma eslabonada de polietileno:** espuma de celdas selladas; no es compatible con los selladores de vertido en caliente. No absorbe el agua y es moderadamente compresible.
- **Espuma de poliuretano:** espuma de celdas abiertas; absorbe el agua, pero no se derrite cuando se usa para sellante vertido caliente, y es muy compresible.

El tamaño de los cordones depende del ancho de la caja de la junta., tabla IV. Los cordones se comprimen un 25% para asegurarse que permanezcan a la profundidad deseada dentro de la caja, figura 9.

**Tabla IV. Tamaños recomendados para cordones de respaldo**

Ancho de la caja (mm)	Diámetro del cordón de respaldo (mm)
3	6
5	6
6	8
8	10
10	13
13	16
16	19
19	22
22	25
25	32
32	38
38	50

\*Para las juntas transversales normales no se deben tener cajas de más de 8 mm de ancho

Fuente: ICPC

**Figura 9. Colocación del cordón de respaldo en la junta longitudinal**



Fuente: Av. Petapa zona 12. Guatemala

## 1.6 Diseño de la caja de la junta

Se debe considerar que el sellador tenga la capacidad de acomodarse a los movimientos de apertura y cierre de la junta, ocasionados por los cambios en la temperatura ambiente. Recomendando hacer estas estimaciones, ec. 2, en los movimientos de las juntas transversales para tener un diseño adecuado.

$$\Delta L = CL*(\alpha\Delta T + \epsilon) \quad \text{Ec. 2}$$

C: Coeficiente de fricción 0.65 para bases estabilizadas  
0.80 para bases granulares

L: Longitud de la losa

$\alpha$ : Coeficiente de expansión térmica del concreto (tabla V)

$\epsilon$ : Coeficiente de contracción del concreto (tabla VI)

$\Delta T$ : Gradiente térmico. Máxima temperatura que alcanza el concreto durante su colocación menos la temperatura más baja del año.

En esta estimación, se debe considerar los factores de seguridad para incluir las diferencias entre los movimientos estimados y los reales. En las juntas longitudinales casi no se producen movimiento, dejando sin efecto ésta ecuación, por lo que puede que no necesiten la misma cantidad de sello que se obtiene con base en el movimiento calculado. Pero su sellado es de vital importancia ya que a menudo son perpendiculares a la pendiente del drenaje, permitiendo un significativa entrada de agua. Siendo las juntas entre el pavimento y la berma las más críticas, ya que pueden dejar entrar hasta un 80% del agua, y un mal sellado anularía el beneficio de los mejores sellos en las juntas transversales. Los rangos de apertura determinados por la ec. 2, para las juntas de contracción transversal con o sin barras de traspaso, reflejan los movimientos reales.

**Tabla V. Valores típicos de coeficiente de expansión térmica**

Tipo de agregados	Coeficiente de expansión térmica $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Cuarzo	3.7
Arenisca	3.6
Grava	3.3
Granito	2.9
Basalto	2.7
Caliza	2.1

Fuente: ICPC

**Tabla VI. Valores típicos de coeficiente de contracción**

Resistencia a la tracción indirecta, MPa	Coeficiente de contracción (mm/mm)
<2.1	0.0008
2.8	0.0006
3.5	0.00045
4.2	0.0003
>4.9	0.0002

Fuente: ICPC

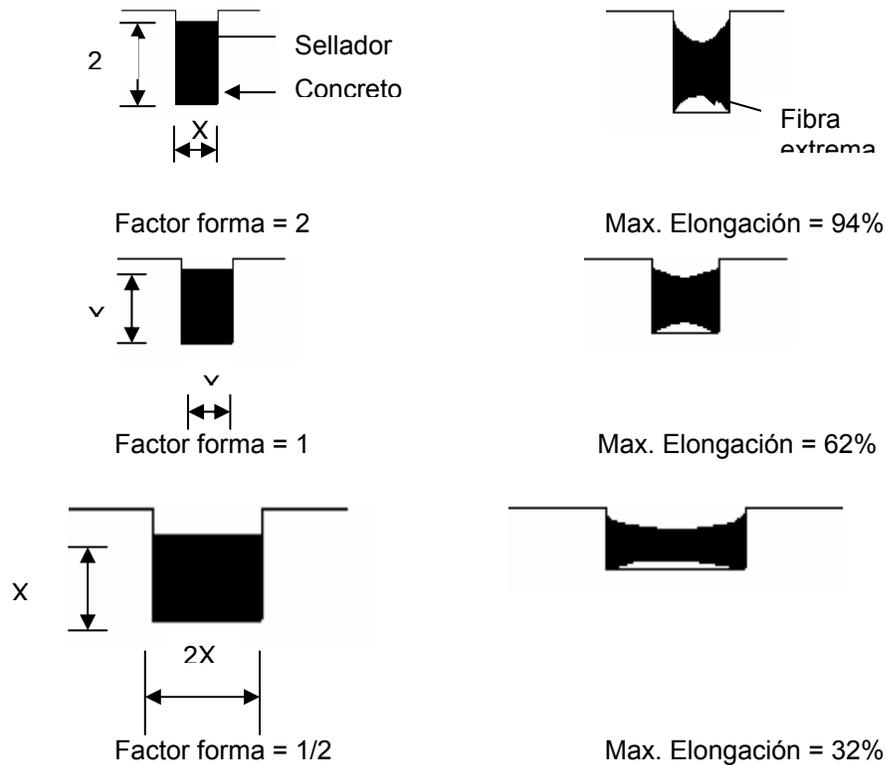
### 1.6.1 Caja para selladores líquidos (factor forma)

El factor de forma es la relación entre la profundidad y el ancho de un sellador líquido vertido en la vía. La sección transversal de un sello cambia durante la expansión y contracción del pavimento, desarrollando esfuerzos en el interior del sellador.

Los selladores líquidos soportan diferentes grados de deformación que dependen de la elongación del sellador (apertura de junta) y del factor forma, figura 10. Los selladores de vertido en caliente soportan un 20% de alargamiento con respecto a su ancho original.

Los silicones y otros sellantes de módulo bajo pueden superar hasta un 100%; aunque los fabricantes recomiendan que los estiramientos totales estén entre un 25 a 50%.

**Figura 10. Estiramiento en la fibra extrema del sellador en varios factores de forma**



En estas figuras, se muestra el efecto del factor de forma, no describe la instalación adecuada del cordón de respaldo.

**Fuente: IMC**

El factor forma para sellantes líquidos vertido en caliente es de 1.0 y para silicón 0.5. Un factor forma  $\leq 1$  produce tensiones más bajas en el sellador de la junta que un factor forma  $> 1$ . Las tensiones internas más bajas o reducidas, proveniente de factores de forma adecuados, minimizan la pérdida de adherencia del sellador con las paredes de la junta.

El ancho de la caja no debe ser demasiado grande para no provocar en el futuro un resellado, ni ser llenada al tope o al nivel del pavimento, para evitar futuros problemas con la extrusión del sello, quedando ligeramente debajo de la superficie de 6 a 10 mm.

### **1.6.2 Caja para selladores preformados**

Para dimensionar el sello preformado se considera la temperatura del pavimento durante su instalación y el rango de los movimientos de la junta, ecuación 2; normalmente el sellante debe funcionar dentro del rango de compresión de 20 a 50%.

La selección del sello preformado se estima con un movimiento admisible menor o igual al rango del movimiento calculado. Si el rango excede el admisible para el sello, se debe seleccionar un sello más grande, o considerar la disminución de la longitud de las losas. Por último se selecciona el ancho de la caja (corte de sierra).

### **1.7 Construcción de la caja**

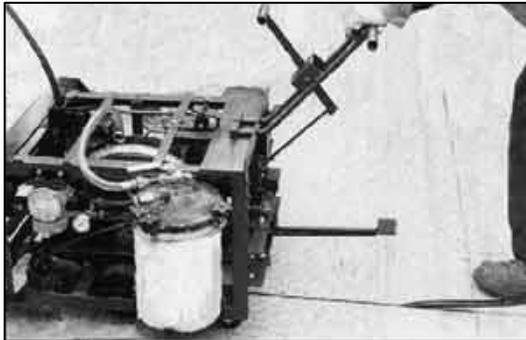
Las juntas transversales son las primeras en ejecutarse para evitar que se produzcan desprendimientos en los bordes. Las longitudinales también son importantes pero el tiempo de aserrado no es tan crítico como en las transversales. En obra se recomienda aserrar entre las ocho y 20 horas de haber colocado el hormigón, dependiendo de las condiciones ambientales. El criterio que debe mantenerse es que a la medida que se incrementa el endurecimiento de la superficie de concreto la profundidad de la ralladura decrece. En general cuando la ralladura remueve la textura superficial es aún muy temprano para iniciar el corte. También se debe considerar que para realizar los cortes en concretos hechos con agregados de granito y caliza el coeficiente de expansión térmico es menor que al de otros agregados, por lo que la temperatura interna y el contenido de agua del concreto influyen en el intervalo de corte.

## **1.8 Limpieza y sellado de las juntas**

La limpieza de las juntas nuevas o el resellado de juntas viejas, deben ser limpiadas con escobilla de alambre, fresadora u otra herramienta que facilite su limpieza. Las paredes de las juntas se lavan con arena a presión; la arena suelta se saca con un compresor de aire de 689 kPa como mínimo o una máquina de propulsión de chorro de agua que debe descargar de 58.6 a 68.9 MPa de presión y 75.7 a 83.3 L de agua/mi. Los compresores deben equiparse con aceite adecuado y una trampa de agua para asegurar que el aire comprimido no se contamine. Para eliminar grasas, aceites y combustibles que se encuentren derramados en el pavimento, en juntas viejas, se utiliza ácido. Debiendo ser removida del pavimento cualquier cantidad de ácido residual o sales que puedan interferir con la adhesión del sellante.

Las juntas deben estar completamente secas, libres de toda incrustación, suciedad, polvo, compuesto de curado y otras materias extrañas antes de la instalación del material aplicado. Luego, se coloca la cinta de respaldo y se aplica el sellador con sistemas de presión como el tipo tubo, para calafatear a mano, o el tipo neumático, pistola para calafatear; según sea el caso, respetando el factor de forma indicadas por el fabricante, siendo aproximadamente 1 a 2, con un hueco de la cima de la superficie del sellante de 6.4 mm como mínimo, debajo de la superficie del pavimento. Las condiciones climáticas para realizar el sellado es que si se instala en clima muy caliente, se debe instalar en la mañana cuando el concreto está frío, permitiendo que las juntas estén a su máxima anchura, para facilitar la aplicación y la limpieza. Si el clima esta frío, las juntas no se llenan completamente, para que presente un acabado perfecto cuando el clima esté caliente.

**Figura 11. Colocación del sello de neopreno**



Fuente: [www.superestrada.com.br](http://www.superestrada.com.br)

El sello de neopreno se coloca de forma uniforme a una temperatura máxima de 24 - 27°C y una mínima de 4 - 5°C; sin halar el sellador para que la fuerza de compresión sea constante, figura 11. Evitando así la entrada de humedad y de partículas extrañas a la junta, permitiendo el movimiento del concreto por cambios de temperatura. La medición se realiza en metros lineales.

### **1.9 Fisuras**

El mal funcionamiento de las juntas crean fisuras sinuosas paralelas a la junta, a veces transversales en forma de arcos erráticos, localizados muy próximas a las mismas. Las fisuras ocurren por falta de verticalidad e inadecuada inserción de los elementos empleados para inducir el corte de la junta, por cortes poco profundos y la excesiva disturbación durante la ejecución de las juntas.

Las fisuras se evalúan por grados de severidad. La evaluación se realiza en el área entre las fisuras y la junta que pueden presentar despostillamiento y/o dislocación de la losa, tabla VII. El resultado de la evaluación es la contabilización de las juntas afectadas para cada daño.

**Tabla VII. Niveles de severidad de las fisuras**

<b>Severidad</b>	<b>Ancho de fisura</b>	<b>Condición del sello</b>	<b>Examen visual</b>
<b>Baja</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• &lt;3mm</li><li>• cualquier ancho</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• satisfactorio</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• no presentan signos visibles de despostillamiento y/o dislocación</li></ul>
<b>Medio</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ≤10 mm</li><li>• cualquier ancho</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• insatisfactoria</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• fracturas en trozos pequeños</li></ul>
<b>Alto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• &gt;10 mm</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• selladas</li><li>• sin sello</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• fracturados en trozos pequeños sueltos, removidos por el tránsito</li></ul>

Fuente: SIECA

## **1.10 Deficiencia de juntas**

### **1.10.1 Deficiencia en el material sellante**

La deficiencia del sellante posibilita la acumulación de material en las juntas o permite una significativa infiltración de agua. Lo cual, puede ser provocado por el endurecimiento del sellante por oxidación, pérdida de adherencia con los bordes de las losas, el levantamiento del sellante por efecto del tránsito y movimientos de la losa, escasez o ausencia de sellante, sellante inadecuado y el crecimiento de vegetación. La condición del sellante se evalúa en toda la sección o muestra evaluada, tabla VIII.

**Tabla VIII. Severidad de la deficiencia en el material sellante**

<b>Severidad</b>	<b>Condición del sellante</b>	<b>Presencia de causas</b>	<b>Examen visual</b>
<b>Baja</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• buena</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• reducida</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• sin riesgo de infiltración de material incompresible.</li></ul>
<b>Medio</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• regular</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• moderada</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• reemplazar el sellante en un período de 2 años.</li></ul>
<b>Alta</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• pobre o no existe</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• uno o más defectos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• sellar o resellar a la brevedad</li></ul>

Fuente: SIECA

Para reparar los daños, primero se remueve el sellante por lo menos 25 mm de profundidad, arreglando el lado de la junta hasta exponer el concreto sano, libre de sellador antiguo, utilizando una sierra eléctrica. Luego, con un cepillo eléctrico metálico se remueven los residuos, soplando las juntas con un compresor de aire. Posteriormente se sellan las juntas con mezcla fría o caliente. Si se aplican selladores calientes éstos deben ser echados con un inyector que pueda penetrar en la junta y llenarla desde el fondo. En trabajos pequeños, se puede usar un envase para verter manualmente.

### **1.10.2 Despostillamiento**

Es la rotura, fractura o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.60 metros de una junta o una esquina; interceptando la junta en ángulo. El despostillamiento ocurre por varios factores, que pueden actuar en forma aislada o combinada, como lo es la mezcla de concreto y su aplicación, el corte del concreto cuando no ha alcanzado una resistencia mínima, el tipo de disco no compatible con la capacidad del equipo de corte o un disco inapropiado, que puede estancarse rápidamente y desalojar los agregados al realizar el corte. Se recomienda que en algunos casos se intercambien diferentes discos de corte y que siempre sus tuberías de lubricación no estén obstruidas, para corregir este problema. El despostillamiento también lo ocasiona las excesivas tensiones en las juntas, originadas por las cargas de tránsito y la infiltración de material incompresible, el deficiente diseño en la construcción de los sistemas de transferencia de carga y la acumulación de agua al nivel de las juntas.

En la tabla IX se muestra el grado de severidad que puede presentar el despostillamiento de las losas.

**Tabla IX. Grado de severidad del despostillamiento**

<b>Severidad</b>	<b>Estado de las piezas formado por fracturamiento</b>	<b>Largo/ancho afectada</b>	<b>Examen visual</b>
<b>Baja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• trozos pequeños</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\leq 8</math> cm a cada lado de la junta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• firmes, puede faltar uno</li> </ul>
<b>Media</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• trozos relativamente sueltos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>&gt;8</math> cm a cada lado de la junta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• algunos o todos pueden faltar, pero su profundidad es menor a 25 mm</li> </ul>
<b>Alta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• trozos inexistentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>&gt;8</math> cm a cada lado de la junta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• removido por el tránsito y tienen una profundidad mayor a 25 mm.</li> </ul>

**Fuente: SIECA**

La medición de despostillamiento se realiza contando y registrando el número de juntas afectadas con cada nivel de severidad, expresándolos en términos de número de losas afectadas, de acuerdo a las siguientes premisas:

- a. Afecta un solo borde de la losa, se controla como una losa con despostillamiento.
- b. Se observa en más de un borde de la misma losa se registra como una losa indicando el nivel de severidad del borde más dañado.
- c. Ocurre a cada lado de la junta, afectando dos losas adyacentes, se registra como dos losas.

## **2. APLICACIÓN EN FRÍO PARA SELLANTES DE UN SOLO COMPONENTE, SILICÓN QUÍMICAMENTE CURADO (ASTM D 5893 – 96)**

### **2.1 Requerimientos generales**

El sellante de silicón debe tener una consistencia apropiada para poderlo aplicar en la junta, ya sea a presión o calafateado a mano. Su curado se lleva a cabo por la reacción química de los componentes que lo forman.

### **2.2 Muestreo**

Se utiliza aproximadamente 3.78 L de sellante, el cual se vierte del envase de fabrica a un recipiente de ensayo que minimice su exposición al aire; evitando que quede aire atrapado en él. Antes de iniciar el ensayo, se examina que el sellante no forme un revestimiento curado, si esto ocurre éste debe ser removido, si no es posible, la muestra se descarta y se obtiene una nueva. Pasado ya este proceso, rápidamente se prepara la muestra para minimizar el curado con la exposición al aire, si empieza a mostrar material curado, esté puede ser removido antes de preparar las muestras adicionales.

### **2.3 Requerimientos físicos**

Los requerimientos físicos que debe cumplir el sellante al ser evaluado se establecen a partir del inciso 2.4.

## **2.4 Método de ensayo**

La muestra se condiciona a la temperatura de laboratorio a  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  a una humedad relativa del  $50 \pm 5\%$ , por 24 h previo al ensayo.

### **2.4.1 Evaluación de propiedades reológicas**

Debido a que el sellante está sometido a esfuerzos producidos por fuerzas externas es necesario evaluar sus propiedades reológicas, para determinar los cambios en su forma y flujo, por medio de los ensayos tipo *self-leveling* (autonivelante) y tipo *non-sag*.

#### **2.4.1.1 Sellante tipo *self-leveling* (ASTM C 639)**

Este método evalúa si el sellante cuenta con suficientes características de flujo para formar una superficie lisa y nivelada, y sin señales de burbujas.

Se utiliza 100 g de sellante tipo I, sellante de un solo componente, y un canal de acero inoxidable tipo 304, acabado pulido 2-B, pared calibre 16, con medidas internas de 19 mm de ancho por 13 mm de profundidad por 152 mm de longitud, con tapas laterales soldadas y fondo desmontable.

El canal se limpia con metil etil cetona o solvente similar. Luego, se lava con detergente y se enjuaga con agua destilada o desionizada, dejándolo secar al aire libre. Antes de iniciar el ensamble del canal se prepara el sellante.

El sellante y el canal se refrigeran a  $4.4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , el primero entre 16 a 24 h y el segundo 2 h. Luego se vierte el sellante al canal, sostenido horizontalmente, a la última temperatura, y se coloca por 4 h a la misma temperatura. Luego, se examinan las propiedades de flujo del sellante ya citadas.

#### **2.4.1.2 Sellante tipo *non-sag* (ASTM D 2202)**

Este ensayo establece el grado de depresión del sellante cuando es aplicado en la junta; evaluando sus características de aplicación, gota de forma y espesor del sellante. El sellante tipo *non-sag* es un sellante de un solo compuesto que exhibe un poco o ningún flujo, cuando es aplicado en la junta. Resiste ha combarse después de ser aplicado.

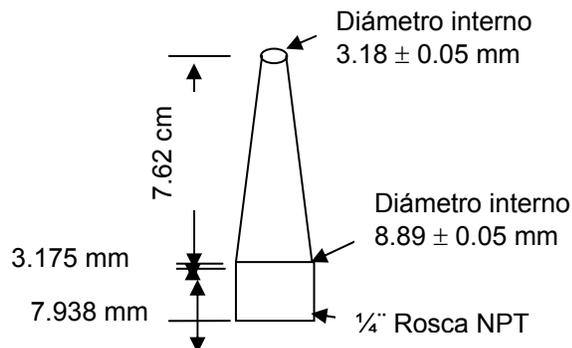
Para realizar este ensayo se utiliza el *flow test jig*, el cual se condiciona cinco horas a  $23^{\circ}\text{C}$  junto con el sellante, previo a iniciar el ensayo. El *test jig* se limpia con solvente y se coloca la cavidad boca arriba con el embolo hacia abajo hasta el límite de su recorrido, vertiendo el sellante en la cavidad hasta llevarlo al ras; evitando la formación de bolsas de aire que se puedan crear cerca de la superficie del embolo. Inmediatamente se coloca el jig en su final y se avanza el embolo a la mitad de su recorrido máximo ó 4.75 mm. Dejando un cilindro sólido de sellante de 38.1 mm de diámetro y 4.75 mm de alto, listo para fluir bajo la cavidad del instrumento. Se coloca el jig en forma vertical en la parrilla del horno 30 min a  $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , evitando cualquier movimiento o vibración del horno durante esta fase. Al finalizar el período se registra la depresión obtenida, la más próxima a 0.2 mm del punto máximo de flujo del sellante. Luego se limpia el jig y se coloca nuevamente a la temperatura ya especificada repitiendo el procedimiento para ensayar la segunda probeta. Al promediar las depresiones obtenidas, el resultado no deberá ser menor de 7.6 mm.

## 2.4.2 Tasa de extrusión (ASTM C 1183)

Este ensayo mide el volumen de extrusión del sellante en un período de un minuto a una presión de  $280 \pm 7\text{kPa}$ . El ensayo se realiza para un sellante tipo S, sellante de un solo componente.

Para realizar este ensayo se necesita un picnómetro, un cartucho de polietileno de alta densidad con embolo y cápsula, capacidad de 177 mL y diámetro interno de  $13.7 \pm 0.05\text{ mm}$ , un compresor de aire, una pistola de calafatear de 177 mL con impulsador de aire, y una boquilla de metal, figura 12.

**Figura 12. Boquilla de metal**



**Fuente: Normas ASTM**

El ensayo se inicia determinando la gravedad específica del sellante de acuerdo al método de ensayo ASTM D 2452 ó D 1475, u otra técnica científicamente correcta.

Se vierte sellante en el cartucho de polietileno; se sujeta la boquilla en el cartucho y se conecta el compresor de aire para iniciar a llenar la boquilla completamente con sellante. Luego, se extrae el sellante a una presión de  $280 \pm 7\text{kPa}$  hacia un contenedor antes pesado (aproximado 0.1 g), por 60 s.

Al nuevo peso del contenedor se le resta el peso inicial para obtener el peso de extrusión del sellante, y ese peso se convierte a volumen dividiéndolo por la gravedad específica debiendo ser el resultado no menor de 50mL/min. Si todo el material es extruído en menos de 60 s, se registra la duración del tiempo requerido y se calcula el volumen del sellante que pudo ser extruído en dicho período de la siguiente forma:

$$\frac{\text{No.gramos}}{\text{No.segundos}} \times \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} \times \frac{1}{\text{gravedad especificada}} = \frac{\text{No de mililitros}}{\text{minutos}}$$

### **2.4.3 Periodo *tack-free* (ASTM C 679)**

Es la medida de tiempo en que la superficie sellante cura y generalmente es correlacionada con intervalos de tiempo antes de que el sellante alcance resistencia al daño por toque o el ligero contacto de su superficie, sitio de trabajo o a la suciedad recogida por el aire y al contacto con la lluvia.

Para realizar el ensayo se utiliza 250 g de sellante, 6 plantillas rectangular de acero de 3.2 mm de espesor con dimensiones interna de 95 por 25.4 mm y dimensiones externas de 120 por 31 mm; 6 placas rectangulares de acero o aluminio de 152 por 76 mm, tiras de polietileno de 127 por 25 por 0.15mm, de bajo calibre, y un peso rectangular de 41 por 19 mm de 30 g. Las plantillas y las placas se limpian con metil etil cetona, xileno, o solvente similar, preparando dos probetas. Se centra la plantilla en la placa y se llena con sellante, evitando bolsas de aire, presionando la superficie con la regla de metal hasta alcanzar un espesor uniforme. Pasado un periodo de 5 h ± 10 min se coloca una tira de polietileno encima de la mitad de la probeta y suavemente se coloca el peso sobre la tira 30 s, se remueve el peso y lentamente se hala la tira con el pulgar y el dedo índice a 90° del sellante, a una velocidad constante de 1pulg/15 s.

Al halar la tira de polietileno, el sellante no debe transferirse a la tira para aprobar el sellante.

#### **2.4.4 Efecto de envejecimiento por calor (ASTM C 792)**

Este método de ensayo mide la pérdida de peso ocurrido por la volatilización de componentes del sellante en una junta, la cual puede afectar la apariencia del sellante, al reducir su forma por la pérdida de la función de sus compuestos cuando es expuesto a alta temperatura del ambiente, acelerando la pérdida de volátiles, lo cual ayuda en el laboratorio a predecir tempranamente la falta en durabilidad, el desarrollo de fisuras o grietas, o ambos, reduciendo el servicio de vida del sellante. Sin embargo, los sellantes que no muestran fisuras o grietas, o un bajo peso perdido en este método, no necesariamente aseguran una buena durabilidad.

Para realizar el ensayo se necesitan 400 g de sellante, platos de aluminio de 152 por 80 por 0.6 a 1.6 mm, calibre 24 a 16 y marcos rectangulares de cobre con dimensiones internas de 130 por 40 por 6.4 mm.

El sellante permanece 24 h a la temperatura ya recomendada, previo al ensayo, para luego ser mezclados por cinco minutos.

Se pesa cada plato de aluminio de 0.01 g. aproximadamente. Se llena el marco de cobre con una porción de sellante, eliminando el sobrante con una regla de metal, y se centra en el plato de aluminio. Inmediatamente se levanta el marco del sellante después de haber separado sus lados con un cuchillo<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> En el vertimiento del sellante, no se levanta el marco de cobre hasta que el sellante este fijado superficialmente y retenga su forma rectangular.

Se preparan 3 probetas de 0.01 g aproximadamente y se dejan curar por 7 días a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  y humedad relativa de  $50 \pm 5\%$ . Luego, se colocan 2 de las 3 muestras en el horno de aire forzado a  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  por 21 días, dejando la tercer probeta (control) a la condición especificada por el mismo período. Luego se extraen del horno y se dejan enfriar por 1 hora y se procede a calcular el porcentaje de peso perdido del sellante de la siguiente forma:

$$\text{peso perdido, \%} = \left[ \frac{(w_2 - w_3)}{(w_2 - w_1)} \right] * 100$$

Donde:

- $w_1$  = peso del plato de aluminio
- $w_2$  = peso del plato de aluminio con el sellante fresco
- $w_3$  = peso de plato con sellante después de ser horneada

El sellante no deberá perder más que el 10% de su peso original o no deberá mostrar grietas o fisuras.

## **2.4.5 Ligazón**

### **2.4.5.1 Preparación de los bloques (ASTM D 1985)**

El agregado para los bloques, tabla X, esta constituido por agregado grueso que contiene 1.5% de agua. La proporción del agregado fino al agregado total es aproximadamente del 40% del volumen sólido. El cemento portland es tipo II, ASTM C 150. La relación de la mezcla agua/cemento es de 0.49, dando un factor cemento de 6 bolsas por yarda cúbica y una depresión de  $63 \pm 13$  mm. La mezcla se vierte en la formaleta y se vibra por 30 s, dejándola curar 14 días a  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ . Luego, se corta en bloques de 25.4 por 25.4 por 76.2 mm. Se lavan las superficies de corte con un cepillo de cerdas duras, no metálico, y se sumergen en agua por 7 días.

Se sacan de la cámara de curado y se dejan secar de 16 a 24 h antes de usarlos en un área del laboratorio libre de contaminación.

**Tabla X. Grado del agregado**

Tipo	Tamaño de tamiz	% Transferido
Agregado grueso	3/4 pulg (19.00 mm)	97 - 100
	1/2 pulg (12.5 mm)	63 - 69
	3/8 (9.5 mm)	30 -36
	No.4 (4.75 mm)	0 - 3
Agregado Fino	No.4 (4.75 mm)	100
	No.8 (2.36 mm)	82 - 88
	No. 16 (1.18 mm)	60 - 70
	No. 30 (600 mm)	40 - 50
	No. 50 (300 mm)	16 - 26
	No. 100 (150 mm)	5 - 9

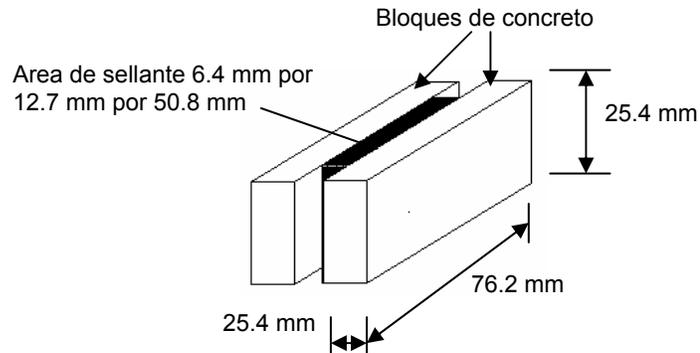
Fuente: Norma ASTM

#### 2.4.5.2 Preparación de la probeta

Se preparan tres probetas por cada ensayo de ligazón.

Para cada probeta se ensamblan 2 bloques de concreto en los lados de 25.4 por 76.2 mm, cara a cara, usando espaciadores para formar una cavidad entre los bloques de 6.4 mm por 12.7 mm por 50.8 mm, figura 13, donde el sellante es vertido de modo que no quede aire en él; se eliminan los excesos con una regla y se deja curar 21 días. Se remueven los espaciadores, sin derramar el sellante, y se examina su superficie exterior que debe estar en estado sólido, sin mostrar vacíos u otro daño parecido, debido a la pérdida de ligazón al remover los espaciadores. Si la probeta no cumple con éstos requerimientos se prepara una nueva probeta.

**Figura 13. Probeta**



**Fuente: Norma ASTM**

### **2.4.5.3 Ensayo**

Luego del curado, se evalúa por medio de los siguientes métodos:

- **Envejecimiento por horno**, las probetas se colocan en un horno de aire forzado a 70°C 7 días  $\pm$  2 h. Luego se remueven del horno y se ensaya por ligazón no sumergida. Completando los 5 ciclos de extensión requeridos dentro de los 7 días.
- **Ligazón no sumergida**, el ensayo se describe en el inciso 3.3.3.
- **Ligazón sumergida en agua**, el ensayo se describe en el inciso 4.4.3.

Al evaluar las probetas, no deben mostrar grietas, separaciones o aberturas en el sellante, ni entre el sellante y los bloques de concreto; para no ser rechazadas.

#### **2.4.6 Dureza (ASTM C 661)**

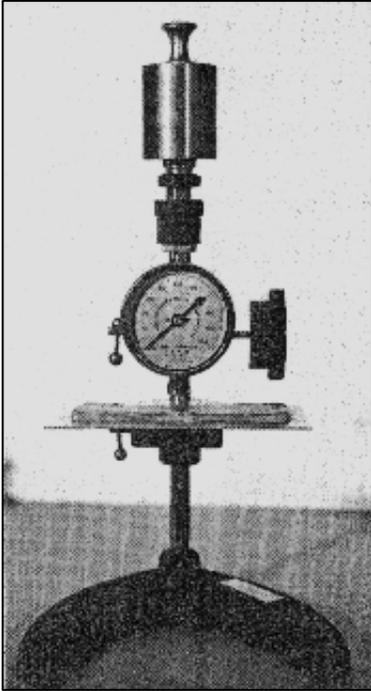
Este método de ensayo determina la dureza de indentación del sellante respecto a una junta en construcción. Los resultados obtenidos son una medida de la indentación dentro del sellante, del indentor bajo carga, por lo que no son considerados como una medida de abrasión o resistencia de desgaste.

Para el ensayo se requiere 250 g de sellante, un marco rectangular de cobre de 130 por 40 por 6 mm, dos placas de aluminio de 80 por 150 mm, calibre entre 16 y 24, un durómetro tipo A - 2 y un durómetro tipo OO.

Se condiciona el sellante 24 h a la temperatura indicada previo al ensayo. Luego el sellante se vierte en el marco hasta llenarlo, después de centrarlo en la placa, eliminando lo que sobresale de los bordes con una regla de metal. Luego, el marco se separa del sellante, ya habiendo separado sus borde con un cuchillo. Se preparan dos probetas semejantes. Dejándolas curar 21 días  $\pm$  4h: 7 días bajo las condiciones especificadas, 7 días en una cámara controlada a 38°C y humedad relativa del 95%, y 7 días bajo condiciones especificadas.

La probeta se condiciona a la temperatura de 2 h: a  $-29 \pm 1^\circ\text{C}$  para el durómetro tipo A - 2 y a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  para el durómetro tipo OO. Rápidamente se extrae y antes de 10 s se ensaya con el durómetro indicado. Aplicándole una fuerza de 1.3 kgf, guardando la presión del pie del durómetro paralela a la superficie de la probeta, figura 14. Se toman las lecturas de las indentaciones instantáneas inmediatamente después de hacer el contacto firme entre el pie de presión y la parte lisa de la probeta cercana a los 13 mm de sus bordes y próximo a los 25 mm del otro. La probeta se regresa a la temperatura de ensayo por 30 min, después se retira y se toma otra dureza. Repitiendo este proceso 4 veces más para obtener seis lecturas.

**Figura 14. Durómetro**



Fuente ASTM

Tomada la primera lectura, se cambia el durómetro o probeta a una nueva posición para evitar los errores debido a la fatiga y efectos ocurridos por la indentación anterior.

Las lecturas se anotan como valores individuales, cada uno redondeado lejos de la unidad más cercana en la escala, y se calcula el valor medio. Las lecturas con una variación del 15% del valor promedio de las seis lecturas, deben ser descartadas. Si en más de 2 lecturas esto ocurre, se repite un nuevo juego de seis lecturas. Como resultado, la dureza a  $-29^{\circ}\text{C}$  no debe exceder de 25 unidades para  $23^{\circ}\text{C}$  no ser menor de 30 unidades para aprobarla.

#### **2.4.7 Flujo (ASTM D 5329)**

El ensayo de flujo determina la deformación del sellante bajo tensión. En un molde plástico de 40 por 60 por 3.2 mm, se colocado un panel de estaño, de 0.25 a 0.64mm de espesor, se vierte el sellante y se deja curar 21 días. Luego se remueve del molde y se ensaya por flujo a  $93.3^{\circ}\text{C}$ , 72 h, de acuerdo como se especifica en el inciso 3.3.3. Terminado el período de 72 h, la probeta no debe presentar fluidez.

#### 2.4.8 Efectos de aceleración climatológica (ASTM C 793)

La radiación ultravioleta degrada al sellante, por lo que un acelerador climatológico en el laboratorio con radiación ultravioleta y atomizador de agua intermitente, es un medio factible para mostrar una degradación remota en la aparición de agrietamiento en el sellante. No obstante, otros factores como la exposición ultravioleta combinada con la prolongación, puede producir mayores degradaciones que el UV solo. El efecto del ensayo se hace más sensible por la suma del torcimiento de la probeta a baja temperatura.

Para realizar este ensayo se utiliza la máquina acelerador climatológico, Atlas UV 2000, que cumple con la especificación ASTM G 23. Trabajando en ciclos: un ciclo de 102 min de luz, seguido de 18 min de luz y agua desionizada; un marco de cobre rectangular de 130 por 40 por 3 mm, tres platos de aluminio de 152 por 80 por 0.3 mm y un mandril de acero de 12.7 mm de diámetro y longitud de alrededor de 102 mm.

Previo al ensayo se condiciona por lo menos 200 g de sellante en un envase cerrado 24 h en condiciones ambientales ya especificadas.

El marco de cobre se centra en la placa de aluminio, llenándolo con sellante y nivelándolo con una regla de metal. Inmediatamente se levanta el marco del sellante después de separarlo con un cuchillo de metal a todo lo largo del interior del marco<sup>1</sup>. Se preparan tres probetas, curándolas 72 h. Luego se colocan dos probetas en el tambor del acelerador climatológico, exponiéndolas a ciclos UV por 4 h a  $60 \pm 3^\circ\text{C}$  y a ciclos de condensación de 2 h a  $50 \pm 3^\circ\text{C}$ , por un período de  $500 \pm 2$  h. Dejando la tercera afuera como probeta (control).

---

<sup>1</sup> En el vertimiento del sellante, no se levanta el marco hasta que el sellante este fijado superficialmente y retenga su forma rectangular.

Se cambian los carbones y se limpian los esferas de filtro diariamente en el periodo de la exposición.

Seguidamente, se extraen las probetas de la máquina y se observan los cambios físicos con respecto a la probeta control. El sellante no debe fluir, mostrar pegajosidad, ni la presencia de una película similar al aceite o al *mastic*; la formación de superficies ampolladas intactas o fracturadas, vacíos internos, superficies cuarteadas, agrietadas, endurecidas o perdida de las propiedades elásticas, ya que estas constituyen fallas en este ensayo. Luego las tres probetas y el mandril se colocan a  $-26 \pm 2^{\circ}\text{C}$  24 h.

Luego, a la misma temperatura se tuerce cada probeta con el mandril, con el lado externo del sellante, por su anchura,  $180^{\circ}$  alrededor del mandril en un segundo. Debiendo de examinarse cada probeta de rajaduras desarrolladas en el área torcida comparada con la probeta control.

#### **2.4.9 Resilencia**

Se vierte sellante en un envase de estaño de  $177.5 \text{ cm}^3$ ; de forma que excluya el aire atrapado y nivelándolo con una regla de metal. Se deja curar 21 días. Después, se coloca en un horno de aire forzado a  $70^{\circ}\text{C}$  siete días. Se extrae del horno y se ensaya de acuerdo al procedimiento de resilencia por envejecimiento de horno, ASTM D 5329, descrito en el inciso 4.4.6. Al evaluar la probeta el sellante no debe bajar más que el 75%.

#### **2.4.10 Propiedades del caucho en tensión (ASTM D 412 método A)**

Este método determina las fuerzas tensoras donde se evalúa el *tensile stress* al 150% de elongación y la última elongación, ambas a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ; con la máquina *tensile tester*.

##### **2.4.10.1 Preparación de la probeta**

En un molde rectangular se colocan espaciadores que forman un espacio de 152.4 mm de ancho por 152.4 mm de longitud y 3.2 mm de profundidad; se cubre el fondo con una hoja desmoldante de aluminio para permitir la separación del sellante sin perjudicar el curado y que no provoque reacción en el sellante. Además del molde, se utiliza el troquel tipo C, tabla XI y figura 16. El troquel debe estar afilado y libre de mellas.

Se vierte el sellante, excluyendo el aire y vacíos, hasta el nivel de los espaciadores; dejándolo curar 21 días. Luego, se remueve del molde en una sola hoja con un cuchillo, verificando que no aparezcan defectos como vacíos, mellas, depresiones, etc. Enseguida, se corta la hoja con el troquel a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , con un solo golpe para obtener probetas con superficies lisas y carentes de defectos, para no reducir el área de la probeta.

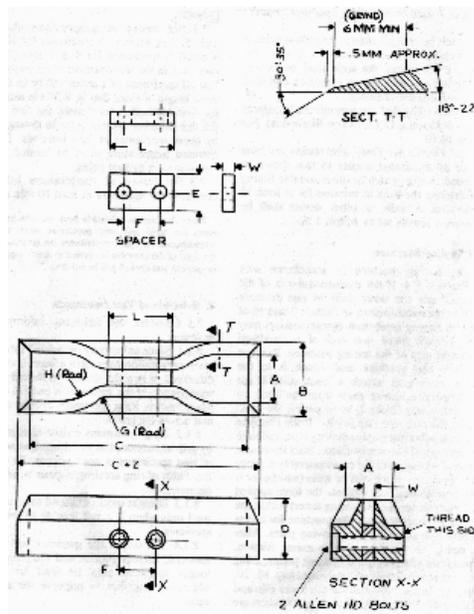
La probeta se condiciona 3 h. Si el material es afectado por humedad, se debe mantener la humedad relativa a  $50 \pm 5\%$  y condicionar la probeta por lo menos 24 h previo al ensayo.

**Tabla XI. Dimensiones del troquel tipo C**

Dimensión	Troquel tipo C	Tolerancia
A	25 mm	$\pm 1$
B	40 mm	Máximo
C	155 mm	Mínimo
D	32 mm	$\pm 6$
D - E	13 mm	$\pm 1$
F	19 mm	$\pm 2$
G	14 mm	$\pm 1$
H	25 mm	$\pm 2$
L	33 mm	$\pm 2$
W	06 mm	+0.05, -0.00
Z	13 mm	$\pm 1$

**FUENTE: Normas ASTM**

**Figura 15. Forma del troquel tipo C**



**Fuente: Normas ASTM**

### 2.4.10.2 Ensayo

Sobre la sección de la probeta se colocan dos marca paralelas, equidistantes de su centro y perpendicular a su eje longitudinal, llamadas banco de marcas, para medir la elongación o fatiga. Los bancos de marca pueden ser sustituidos por un extensiómetro automático. La distancia entre los centros de marca es de  $25 \pm 0.25$  mm. Las superficies tendrán un ancho entre 0.05 y 0.08 mm y al menos 15 mm de longitud. Los ángulos entre las superficies de marca y los lados es de por lo menos de  $75^\circ$ .

La probeta se coloca en la máquina, ajustándola simétricamente para distribuir uniformemente la tensión sobre la sección de corte. Si la tensión es mayor en un lado de la probeta que en la otra, las marcas de banco no permanecerán paralelas y la firmeza máxima del sellante no podrá ser desarrollada. La velocidad de separación<sup>2</sup> de los agarradores será de  $500 \pm 50$  mm/min, para una distancia de 750 mm. Al iniciar la máquina se anota la distancia entre las 2 marcas de banco, tomándola con cuidado para evitar el paralelaje. Se registra la fuerza cuando la probeta experimente una elongación del 150%, ec. 3, y el periodo de ruptura para establecer la última elongación, ec. 4, determinada preferiblemente con un extensiómetro.

El *tensile stress* no debe exceder los 310 kPa y la última elongación no debe ser menor de 600%.

- *Tensile stress*

$$\textit{tensile stress} = F/A \quad \text{Ec.3}$$

---

<sup>2</sup> Para materiales que tengan un bajo punto de producción del 20% de elongación cuando se ensayan a  $500 \pm 50$  mm/min la velocidad se reduce a  $50 \pm$  mm/min. Pero si esto aun persiste, la velocidad se reduce a  $5 \pm 0.5$  mm/min. Reportando la velocidad de separación.

Donde:

F = Fuerza observada en la elongación especificada

A = Area de la sección transversal de la probeta sin tensión

- Última elongación

$$\text{última elongación} = 100(L - L_o) / L_o \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

L = distancia entre las marcas de banco en el tiempo de ruptura

L<sub>o</sub> = distancia original entre el banco de marcas.

## **2.5 Precauciones en el uso y aplicación de sello de juntas**

Uno de los aspectos a considerar en el sellante es su almacenamiento ya que una leve exposición al aire resultaría en acelerar su curado. Respecto al equipo utilizado y aplicación del sellado, ya se ha expuesto con anterioridad en el inciso 1.8.



### **3. SELLANTES TIPO ELÁSTICO, APLICADO EN CALIENTE (ASTM D 1190-97)**

Esta especificación no cubre las propiedades requeridas de los sellantes usados en áreas de pavimento de concreto donde existan surtidores de combustibles u otros lugares de derramamiento del mismo, así como abastecimiento de combustible de aviones y áreas de mantenimiento.

#### **3.1 Requisitos generales**

El sellante tipo elástico, aplicado en caliente, debe tener una consistencia de vaciado uniforme para ser vertido en la junta, evitando que se hagan burbujas o discontinuidades que provocarían daño al material.

#### **3.2 Muestreo y calentamiento (ASTM D 5167)**

##### **3.2.1 Muestreo**

Se utiliza 800 g aproximadamente de sellante sólido o líquido a 23°C.

##### **3.2.2 Calentamiento**

El sellante se calienta en el fundidor, en un baño de aceite, dentro los límites de temperatura de seguridad de calentamiento, t.s.c., y los 41.7°C sobre la temperatura de seguridad del sellante, sin exceder la temperatura del aceite de 288°C.

Si se ensaya sellante líquido, éste se vierte por completo en el fundidor. Si el sellante es sólido, se agrega 4 porciones de  $50 \pm 10$  g en el fundidor, con el agitador funcionando. Al alcanzar éstos fluidez, se añaden los segmentos restantes a la proporción de uno, 50 g segmento/min, deteniendo el agitador 10 s, mientras se realiza el agregado. Inicialmente el sellante es removido mecánicamente. Después de que el último segmento sea agregado, ya sea líquido o sólido; se aumenta la temperatura, regulando la temperatura del aceite dentro de los límites ya mencionados, mientras aumenta la temperatura del sellante en 1 h, tiempo desde que el primer segmento fue agregado. Ya cuando el sellante presenta una consistencia fácil de fluidez, punto de derrame, se vierte a los moldes de ensayo, dentro de un período de 10 min, descartando los primeros 50 a 60 g del material descargado del fundidor.

Se registra como punto de derrame la mínima temperatura a la cual el sellante tenga fluidez para ser vertido y el tiempo requerido para llegar a esa consistencia.

La temperatura de seguridad de calentamiento es la mayor temperatura a la cual el sellante puede ser calentado y cumplir aún con los requisitos de flujo, por lo que periódicamente se toman probetas vaciando directamente el sellante al molde para ser ensayado por flujo. Si el ensayo presenta un exceso de 20 mm indican daño al material, lo cual es causado por procedimientos inadecuados de calentamiento.

### **3.2.3 Punto de vaciado**

Será de al menos  $11^{\circ}\text{C}$  más bajo que la t.s.c., máxima temperatura a la que el material puede ser calentado.

### 3.3 Método de ensayo

Las probetas se curan  $24 \pm 4$  h a la temperatura de laboratorio de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ .

#### 3.3.1 Penetración no sumergido (ASTM D 5329)

**Figura 16. Penetrómetro de cono**



**Fuente: Norma ASTM**

El sellante se vierte en una lata de 6 onzas, hasta al ras y se deja curar. La probeta se coloca en un baño de agua, a  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$  2 h. Se saca del baño y se seca la superficie. Luego, se coloca en el penetrómetro de cono, figura 16, y se determinan 3 posiciones en un radio de  $120^\circ$ , 150 g, equidistante entre el centro y el lado exterior de la probeta. Se asegura la punta del cono, colocándola en un punto que represente el material, libre

del polvo, agua, burbujas u otro material extraño. El cono se suelta y se deja caer libremente en la probeta por cinco segundos a temperatura ya especificada. Se realizan 3 lecturas y se promedian en unidades de  $1/10$  mm, dadas por el penetrómetro. Al evaluar la probeta ésta no debe exceder las 90 unidades para ser aprobado el sellante.

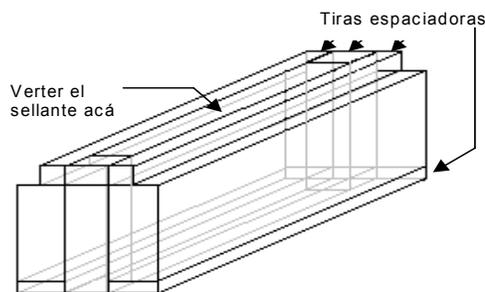
### 3.3.2 Ligazón no sumergida (ASTM D 5329)

Para este ensayo se preparan 6 bloques de concreto para 3 probetas, de acuerdo a las especificaciones descritas en el inciso 2.4.5.1, obteniendo bloques de 25.4 por 25.4 por 76.2 mm.

#### 3.3.2.1 Preparación de probeta

Los bloques y las tiras espaciadoras se moldean de la siguiente manera: se colocan 4 tiras espaciadoras de bronce, de 6.4 mm de ancho, sobre una base metálica, ambas tratadas con desmoldante<sup>3</sup>. Los bloques se colocan sobre las tiras espaciadoras formando una cavidad entre ellos de 12.7 mm de ancho por 12.7 mm de espesor por 76.2 mm de largo, y con una abertura de 6.4 mm debajo. Los bloques se sujetan con abrazaderas y se colocan tiras espaciadoras en la parte superior del bloque, figura 17. Se vierte sellante hasta alcanzar el tope de las paredes y se deja curar como se describe en 2.4.5.2.

**Figura 17. Colocación de tiras espaciadoras**



**Fuente: Normas ASTM**

<sup>3</sup> Se utiliza un agente desmoldante no tóxico, lavable con agua el cual está preparado con una pasta suave con una mezcla del 50% de talco, 35% de glicerina y 15% en peso de un lubricante medicinal soluble en agua.

### **3.3.2.2 Extensión a baja temperatura**

Terminado el período de curado, la probeta se coloca a  $-29 \pm 1^\circ\text{C}$  en un cuarto frío por 4 h. Si el material se contrae durante el enfriamiento por debajo de los topes de los bloques o se manifiesta otro defecto de vaciado, la probeta se descarta.

Si todo va bien, se extraen los bloques de los espaciadores metálicos y se montan en las abrazaderas alineadas de la máquina de extensión, *tensile tester*; extendiendo la probeta 12.7 mm a  $3.2 \pm 0.26$  mm/h. Luego se remueve la probeta de la maquina de ensayo dentro de los 30 min de haber completado la extensión. Esto produce el 50% de extensión.

Durante este período, la temperatura ambiente ha de mantenerse según lo ya especificado.

La probeta se saca de la máquina de extensión, y se examina por separaciones obvias dentro del sellante y entre el sellante y los bloques, sin deformaciones causadas de la extensión de la probeta.

### **3.3.2.3 Compresión**

Se reubican los espaciadores metálicos entre los bloques de concreto y se almacenan a la temperatura de la sala 2 h, colocando las probetas una sobre otra para que el peso del bloque superior recomprima la junta sellante.

### **3.3.2.4 Reextensión a baja temperatura y recompresión**

Las probetas se harán por reextensión y recompresión 4 ciclos adicionales por un total de 5 ciclos, completados durante un periodo de 7 días.

### **3.3.2.5 Evaluación del ensayo**

Estando la probeta fría, se revisa en 30 min la existencia de separaciones obvias dentro del sellante y entre el sellante y los bloques. Pero si durante el desarrollo del ensayo aparece una fractura, separación u otra abertura que se encuentre una profundidad superior a 6.4 mm constituirá una falla de la probeta ensayada. La profundidad de estas fallas, se miden perpendicular al lado del defecto expuesto en el sellante.

### **3.3.3 Flujo (ASTM D 5329)**

Se vierte sellante en un molde plástico de 40 mm de ancho por 60 mm de largo por 3 mm de espesor, colocado en un panel de latón brillante de calibre entre 0.25 a 0.64 mm, llenándolo con exceso de material<sup>3</sup>. Se deja enfriar a temperatura ambiente media hora, nivelándolo al ras con un cuchillo o espátula caliente y se deja curar. Seguidamente, se señalan líneas de referencia en el panel, en el fondo del borde del sellante, y se coloca en el horno de aire forzado de forma que el eje longitudinal de la probeta este a un ángulo de  $75 \pm 1^\circ$  con la horizontal, y el eje transversal este horizontal a una temperatura de 60°C, 5 h. Luego, se remueve del horno y se mide el movimiento de la probeta debajo de las líneas de referencia sin que éste exceda 5 mm.

---

<sup>3</sup> Se utiliza un agente desmoldante no tóxico, lavable con agua el cual esta preparado con una pasta suave con una mezcla del 50% de talco, 35% de glicerina y 15% en peso de un lubricante medicinal soluble en agua.

### **3.4 Precauciones en el uso y aplicación de sello de juntas**

#### **3.4.1 Control de temperatura**

Algunos materiales pueden ser dañados por calentamiento a altas temperaturas o por calentamiento prolongado. Por lo que se recomienda calentar el sellante en forma indirecta.

#### **3.4.2 Cordón de respaldo**

Para decidir la escogencia del cordón de respaldo ver inciso 1.5.2.

#### **3.4.3 Sellado y resellado de juntas**

Este proceso esta desarrollo en el inciso 1.8.



## **4. SELLANTES TIPO ELASTOMÉRICO, APLICADO EN CALIENTE (ASTM D 3406-95)**

Esta especificación cubre el sellante tipo elastomérico aplicado en caliente. Se caracteriza por ser resistente al desgaste, por lo que puede ser utilizado para sellar juntas y grietas en carreteras de concreto y aeropuertos.

### **4.1 Requerimientos generales**

El sellante tipo elastomérico antes de colocarse en el pavimento, se calienta a la temperatura de seguridad de calentamiento, t.s.c., por espacio de seis horas. Una vez colocado, éste debe estar libre de vacíos internos ocasionados en su colocación o vacíos que se desarrollen posteriormente en servicio.

### **4.2 Temperatura de seguridad de calentamiento**

Es la temperatura máxima en la que el sellante puede ser calentado sin dejar de cumplir los requisitos de flujo. La t.s.c tendrá como mínimo 11°C superior a la temperatura de aplicación recomendada por el fabricante.

### **4.3 Muestreo y calentamiento (ASTM D 5167)**

#### **4.3.1 Muestreo**

Se utiliza 2500 g de sellante ya sea sólido o líquido a 23°C.

### **4.3.2 Calentamiento**

El sellante se calienta en un baño de aceite en el fundidor a t.s.c del sellante. En el caso de los sellantes sólidos, se agrega cuatro porciones de  $50 \pm 10$  g en la fundidora, con el agitador funcionando, llevando el sellante a una consistencia capaz de fluir, que no exceda las recomendaciones especificadas del fabricante para la t.s.c. Se añaden los segmentos restantes a la proporción de uno, 50 g segmento/min, deteniendo el agitador 10 s, mientras se realiza el agregado. Si la muestra vertida es líquida, puede ser agregada completamente. Inicialmente el sellante se revuelve mecánicamente. Después de que el último segmento es agregado, ya sea líquido o sólido, se regula la temperatura del baño de aceite para llevar la muestra a la temperatura de  $41.7 \pm 0.1^\circ\text{C}$ , en un período de una hora, tiempo transcurrido desde que el primer segmento fue agregado al fundidor. En ningún caso, la temperatura del baño de aceite debe ser mayor a  $288 \pm 0.1^\circ\text{C}$ . Se continúa calentando la muestra a la t.s.c hasta transcurrir seis horas, después de haber agregado el primer segmento al fundidor. Seguidamente, se vierte en los moldes de ensayo en un periodo de 10 min, descartando los primeros 50 a 60 g del material descargado del fundidor.

## **4.4 Método de ensayo**

Todas las probetas se curan  $72 \pm 2$  h, a la temperatura de laboratorio de  $23^\circ \pm 2^\circ\text{C}$  y humedad relativa de  $50 \pm 10\%$ .

### **4.4.1 Penetración no sumergida (ASTM D 5329)**

Se vierte sellante en una lata de seis onzas, al ras, y se deja curar. Luego, se coloca la probeta en un baño de agua a  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ , 2 h.

Luego, la probeta se coloca en el penetrómetro de cono y se determinan tres posiciones en un radio de  $120^\circ$ , 150 g, equidistante entre el centro y el lado exterior de la probeta. El cono se suelta, dejándolo caer libremente en la probeta por 5 s a temperatura de  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ . Se realizan tres lecturas y se promedian en unidades de 1/10 mm, dadas por el penetrómetro. Al evaluar la probeta ésta no debe exceder las 130 unidades para ser aprobado el ensayo.

#### **4.4.2 Flujo**

Se vierte sellante en un molde plástico de 40 mm de ancho por 60 mm de largo por 3 mm de espesor, calibre entre 0.25 a 0.64 mm<sup>3</sup>; se deja enfriar a temperatura ambiente media hora para nivelarla al ras y se deja terminar de curar. Luego, se señalan líneas de referencia en el molde, en el fondo del borde del sellante. El molde se coloca en el horno de aire forzado a  $70^\circ\text{C}$ , 72 h, de tal forma que el eje longitudinal de la probeta este a un ángulo de  $75 \pm 1^\circ$  con la horizontal, y el eje transversal este horizontal. Luego, se remueve del horno y se mide el movimiento de la probeta debajo de las líneas de referencia en milímetros, no debiendo presentar ninguna señal flujo.

#### **4.4.3 Ligazón no sumergida (ASTM D 5329)**

El desarrollo de este método de ensayo se describe en el inciso 3.3.2.

#### **4.4.4 Ligazón sumergida en agua (ASTM D 5329)**

Para este ensayo se preparan tres probetas como se describe en el ensayo de ligazón no sumergido.

---

<sup>3</sup> Se utiliza un agente desmoldante no tóxico, lavable con agua el cual esta preparado con una pasta suave con una mezcla del 50% de talco, 35% de glicerina y 15% en peso de un lubricante medicinal soluble en agua.

Con la ayuda de tiras espaciadores se forma una cavidad entre los bloques de 6.4 por 12.7 por 50.8 mm, donde se vierte el sellante. Luego, se sumerge cada probeta 12.7 mm, por 96 h, en 500 ml de agua destilada o desionizada, en posición horizontal en un contenedor, descansando las caras de 25.4 por 76 mm. Luego, se extraen las probetas, removiendo los espaciadores y el exceso de agua con un material suave, seco y absorbente, y se procede a ensayarlas por extensión a baja temperatura y compresión; para luego ser ensayadas por reextensión a baja temperatura y recompresión, como se especifica en el ensayo de ligazón no sumergido. 30 min después de remover la prueba de ligazón de extensión, se examina la aparición de separaciones obvias dentro de la probeta. Completando los cinco ciclos de extensión requeridos dentro de los siete días.

#### **4.4.5 Resilencia (ASTM D 5329)**

Para el ensayo se utiliza el penetrómetro descrito en ASTM D 5, excepto que se reemplaza la aguja con la herramienta de penetración de bola. El peso total de la bola de penetración y el huso del penetrómetro debe ser de  $75 \pm 0.01\text{g}$ .

##### **4.4.5.1 Preparación de probeta (ASTM D 5167)**

Se vierte sellante en una lata de seis onzas, dejándola curar previo a ensayar.

##### **4.4.5.2 Procedimiento**

Se coloca la probeta en un baño de agua a  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ , 2 h. Luego, se extrae del baño de agua y se seca su superficie, cubriéndola ligeramente con talco, removiéndole el exceso. La probeta se ensaya a  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ .

Se coloca el dial del penetrómetro en cero y la herramienta de penetración de bola en contacto con la superficie de la probeta. Ubicando una luz para que el contacto inicial de la bola y la superficie de la probeta pueda ser fácilmente vista. Se suelta la herramienta de penetración de bola, permitiendo que penetre la probeta por 5 s y se registra la lectura como penetración de bola, P, en centímetros aproximando a la centésima. Sin devolver el indicador del dial a cero, se presiona la herramienta de penetración de bola hacia abajo adicionándole 100 unidades, esto es, una lectura de P + 100, a una velocidad uniforme en 10 s. Reajustar la espoleta para afirmar la herramienta abajo por 5 s adicionales, regresando el dial a cero, durante este período. Se suelta la espoleta, permitiendo que la probeta se recupere por 20 s, registrando la lectura del dial final, F. Si la bola no se suelta libremente de la probeta, se desprecia la resiliencia determinada y se retalca la superficie de la probeta y se vuelve a ensayar.

Las determinaciones se realizan a tres puntos equidistantes sin exceder los 13 mm del borde del recipiente. Calculando la recuperación (medida de resiliencia) de la siguiente manera:

$$\text{recuperación, \%} = P + 100 - F$$

Se promedian las 3 determinaciones obtenidas como la resiliencia. Debiendo obtener una recuperación mínima de un 60%, para su aprobación.

#### **4.4.6 Resiliencia por envejecimiento de horno (ASTM D 5329)**

El equipo y la preparación de la probeta se describen en el ensayo de resiliencia, inciso 4.4.5.

#### **4.4.6.1 Procedimiento**

Completado el periodo de curado, la probeta es envejecida en un horno, de aire forzado a  $70 \pm 1^\circ\text{C}$ , 24 h. Luego se deja enfriar por una hora y por un periodo de dos horas se coloca en un baño de agua mantenido a  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$  ensayándolo como se especifica en el ensayo de resiliencia. Al evaluar la probeta ésta deberá tener una recuperación mínima del 60% para aprobarla.

#### **4.4.7 Condiciones climáticas artificiales (ASTM D 5329)**

Se utiliza la máquina *Accelerated Weathering*, Atlas UV 2000 que cumple con la especificación ASTM G 23.

Se preparan 3 probetas en un molde plástico de 38 mm de ancho por 101 mm de longitud por 6.4 mm de profundidad, tratado con bronce. El molde se coloca sobre un panel de hojalata brillante de 76 por 152 mm; llenándolo al ras. Después de una hora se recorta el exceso y se deja curar. Luego, las probetas se amoldan para montarlas en el tambor o bastidor del aparato, verticalmente sobre y debajo de la línea horizontal central de la fuente de radiación.

Para asegurar que las probetas reciban la exposición radiante uniformemente, se recalibran verticalmente en una secuencia que les suministre períodos de exposición equivalentes en cada ubicación, recomendando la rotación periódica de la probeta.

La medida de temperatura y su control, se basa en la unidad del termómetro del panel negro.

Se programa el instrumento para que opere en luz encendida continuamente. Se llena la probeta testigo con bastidor y el termómetro del panel negro. Operando en esta forma mientras se estabiliza la temperatura del panel negro, de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Se lleva la máquina a la temperatura de operación y se equilibra, dejando cuatro horas de periodo de funcionamiento continuo y entre 25 a 35 min después un ciclo de rocío.

La temperatura del panel de control negro es de  $63 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$  evaluándolo en una cámara de humedad relativa de  $50 \pm 10 \%$ . Se compara la temperatura del panel negro con la especificación. Si la temperatura del panel esta dentro del límite de  $2.5^{\circ}\text{C}$  de la especificación no es necesario ningún ajuste. Pero si es mayor a este límite se ajusta el control de temperatura y se verifica la temperatura del panel durante el siguiente ciclo. Se recomienda que este procedimiento se realice después de cada 200 h de funcionamiento de la máquina.

El agua de rocío debe caer en las probetas en forma uniforme; el pH del agua de rocío es de seis a ocho, y atomizada sin exceder 20 ppm de sólidos totales y sin dejar depósitos inconvenientes o manchas en las probetas. La presencia de niveles muy bajos de silicato en el agua de rocío deja evidencia de depósitos en algunas probetas. Se recomienda que la temperatura del agua sea de  $16 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . No se recomienda la recirculación y no se hace a menos que el agua reciclada sea tratada para reunir los requisitos anteriores. Siguiendo con el ensayo, se gira la leva de mando de ciclo hasta que la máquina esté en un ciclo de rocío. Observando el rocío múltiple. Todas las cabezas de rocío deben rociar un chorro de llovizna o agua que alcancen la superficie del panel. Si esto no pasa, se quita el rocío múltiple y se limpia cada cabeza de rocío. Luego se instalan y se verifica el funcionamiento de rocío.

Las esferas de filtro usadas no pueden usarse para más de 2000 h. Por lo que se recomienda reemplazarlas cada 1000 h.

El ciclo de ensayo diario es el siguiente:

Condición de ensayo	Exposición, min
Solamente luz	51
Luz y rociado de agua	09
Total, por día	20 periodos de 60 min

Un ensayo completo consistirá de 160 h de exposición en el equipo.

Las probetas ensayadas se examinan superficialmente, cuando finaliza cada período de 20 h de exposición, mientras las probeta están aproximadamente a la temperatura de la cámara de ensayo, anotando cualquier cambio observado.

Se examinan las probetas después de 160 h de exposición, mientras se encuentran aproximadamente a la temperatura de la cámara de ensayo. Las probetas al ser evaluadas no deben fluir, cualquier evidencia de cambios físicos en la superficie del material, por examen visual y al tacto, en la que se muestre pegajosidad, la presencia de una película similar al aceite o al *mastic*, la formación de superficies ampolladas intactas o fracturadas, vacíos internos, superficies cuarteadas, agrietadas, endurecidas o pérdida de las propiedades del caucho, constituyen una falla de este ensayo.

#### **4.4.8 Tensión – adhesión**

Se preparan tres probetas, como se describe en la sección de ligazón no sumergida, y se dejan curar. Seguidamente, se colocan en la maquina *tensile tester* y se halan a una velocidad de 12.7 mm/min en un rango desde 0 a 203 mm, como mínimo.. Se continua la extensión hasta que el sellante alcance la cohesión completa y el fallo de adhesión. Se promedian las elongaciones obtenidas de cada una de las probetas, y se registra si la falla fue por cohesión o adhesión, reportando su elongación en porcentajes. El resultado final debe ser igual a un mínimo del 500% de elongación, para ser aprobada.

#### **4.4.9 Flexibilidad (ASTM D 5329)**

La probeta se prepara de acuerdo al ensayo de flujo y se coloca en un horno de aire forzado a  $70 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , 72 h. Se saca del horno y se deja enfriar bajo las condiciones ya especificadas, por 24 h. Lentamente se curva el plato metálico, con la probeta intacta sobre un mandril de 6.4 mm de diámetro, produciendo una curvatura de  $90^{\circ}$ , con un radio máximo en la curvatura de 3.2 mm. Localizando la curvatura tal que se aproxime en el punto medio de la probeta de 60 mm de dimensión. Al ser evaluada la probeta no debe presentar grietas.

### **4.5 Precauciones en el uso y aplicación de sello de juntas**

#### **4.5.1 Control de temperatura**

El control de temperatura que debe llevar el calentamiento del sellante esta desarrollado en el inciso 3.4.1.

#### **4.5.2 Sellado y resellado de juntas**

Este proceso se describe en el inciso 1.8.

#### **4.5.3 Cordón de respaldo**

Para decidir la escogencia del cordón de respaldo ver inciso 1.5.2.

#### **4.5.3 Colocación en obra**

Las juntas serán llenadas por medio de un operador adiestrado con un nivelador a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento adyacente.

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En Guatemala no se cuenta con un laboratorio que verifique la calidad del material sellante que se aplique en frío o en caliente en pavimentos de concreto hidráulico; por lo que se propone que el Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII, realice los ensayos de control de calidad de los mismos, evaluando sus propiedades físicas.

Al verificar si el CII cuenta con el equipo necesario para realizar los ensayos bajo normas ASTM, se observó que el Centro cuenta solamente con un penetrómetro y un horno, por lo que fue necesario realizar un estudio para saber si es factible implementarlos.

En Guatemala se le ha dado mayor uso a los sellantes aplicados en caliente y ya que el CII cuenta con el equipo parcial para realizar los ensayos se propone que inicie con los ensayos de penetración, flujo, resiliencia y flexibilidad, dando así apertura a esta área de investigación, que posteriormente pueda ser implementado el resto de ensayos que le sean factibles.

Es necesario dar énfasis que se evaluará en el material sellante sus propiedades físicas y no químicas, para el control de calidad. Por lo que se recomienda realizar los ensayos en la Sección de Mecánica de Suelos y no en la Sección de Química.

El costo de implementación de los ensayos que se consideran factibles realizarlos en el CII están desarrollados en los incisos 5.2 al 5.4

## 5.1 Estimación de costo de ensayo

Se analiza bajo los siguientes parámetros:

**5.1.1 Equipo:** equipo que se necesita para desarrollar el ensayo.

### 5.1.2 Gastos administrativos

- **Gastos directos:** se estima para cada ensayo, la revisión de la prueba por el Jefe de Sección y el período que ocupa el laboratorista para realizar el ensayo.
- **Gastos indirectos:** cubre los gastos salariales del área administrativa del CII: director, tesorera, secretaria, dos oficinistas y bodega, estimando un cargo de cinco minutos por ensayo, y el mantenimiento del edificio que se carga al ensayo un periodo de 15 min para la sección de Mecánica de Suelos.
- **Gastos de operación**
  - **Mantenimiento de equipo:** se estima un 5% de mantenimiento sobre ensayo.
  - **Depreciación de equipo:** se estima un 20% de depresión del equipo por su uso en el ensayo.
  - **Energía Eléctrica:** consumo que requiere el equipo. Para el 9 de marzo de 2004 el precio de venta del Kw/h esta ha Q. 1.41.

## 5.2 Análisis de costo, aplicación en frío

### 5.2.1 Evaluación de propiedades reológicas

#### 5.2.1.1 Sellante tipo *self-leveling* (ASTM C 639)

**Tabla XII. Análisis de costo *self-leveling***

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber</i> G212D1	9472.00	76607.45	0.00	0.03
• Refrigerador	371.00	3000.57	0.06	0.48
• Canal	60.00	485.27	0.02	0.20
<b>Sub-total</b>	<b>9903.00</b>	<b>80093.29</b>	<b>0.09</b>	<b>0.71</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	1.40	11.31
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>3.59</b>	<b>29.00</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			1.79	14.45
• Mantenimiento del equipo (5%)			0.17	1.36
• Depreciación del equipo (20%)			0.67	5.42
<b>Sub-total</b>			<b>2.62</b>	<b>21.22</b>
<b>Total</b>	<b>13736.59</b>	<b>111098.49</b>	<b>6.30</b>	<b>50.93</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 1 h

#### 5.2.1.2 Sellante tipo *non-sag* (ASTM D 2202)

**Tabla XIII. Análisis de costo *non-sag***

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber</i> G212D1	9472.00	76607.45	0.81	6.56
• <i>Flow test jig</i>	350.00	2830.72	0.08	0.63
• <i>Gravity convection oven</i> H-30120	785.00	6348.91	0.01	0.11
<b>Sub-total</b>	<b>10607.00</b>	<b>85787.08</b>	<b>0.90</b>	<b>7.30</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	4.20	33.93
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	0.64	5.18
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>5.96</b>	<b>48.17</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			2.46	19.88
• Mantenimiento del equipo (5%)			0.91	7.40
• Depreciación del equipo (20%)			3.66	29.60
<b>Sub-total</b>			<b>7.03</b>	<b>56.88</b>
<b>Total</b>	<b>14440.59</b>	<b>116792.28</b>	<b>13.89</b>	<b>112.34</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 3 h

## 5.2.2 Tasa de extrusión (ASTM C 1183), sellante tipo S

Tabla XIV. Análisis de costo de tasa de extrusión

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• Laboratory conditioning chamber G212D1	9472.00	76607.45	0.10	0.81
• Kit: High density polyethylene cartridge, air supply, caulking gun	186.00	1504.33	0.01	0.10
• Metal nozzle	12.00	97.05	0.00	0.01
• Timer H-3575	38.00	307.34	0.01	0.04
• Small container H-1350.3 A	1.50	12.13	0.00	0.01
• Balance H-4724	275.00	2224.14	0.01	0.08
• Picnómetro de vacío y accesorios EI45-9300	547.71	4429.76	0.02	0.15
<b>Sub-total</b>	<b>10532.21</b>	<b>85182.20</b>	<b>0.15</b>	<b>1.20</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	0.19	1.50
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	0.64	5.18
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>1.95</b>	<b>15.74</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			0.49	3.99
• Mantenimiento del equipo (5%)			0.13	1.04
• Depreciación del equipo (20%)			0.52	4.18
<b>Sub-total</b>			<b>1.14</b>	<b>9.22</b>
<b>Total</b>	<b>14365.80</b>	<b>116187.40</b>	<b>3.23</b>	<b>26.15</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 1.5 h

## 5.2.3 Flujo (ASTM D 5329)

Tabla XV. Análisis de costo de flujo

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• Laboratory conditioning chamber G212D1	9472.00	76607.45	2.10	16.95
• Moldes	4.00	32.35	0.05	0.37
• Oven forced air H-30125	1150.00	9300.95	0.16	1.27
<b>Sub-total</b>	<b>10626.00</b>	<b>85940.75</b>	<b>2.30</b>	<b>18.60</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	1.40	11.31
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	0.64	5.18
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>3.16</b>	<b>25.55</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			15.14	122.47
• Mantenimiento del equipo (5%)			2.34	18.93
• Depreciación del equipo (20%)			9.36	75.73
<b>Sub-total</b>			<b>26.85</b>	<b>217.14</b>
<b>Total</b>	<b>14459.59</b>	<b>116945.95</b>	<b>32.31</b>	<b>261.28</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 73 h

## 5.2.4 Período *tack-free* (ASTM C 679)

Tabla XVI. Análisis de costo de período *tack-free*

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber G212D1</i>	9472.00	76607.45	0.10	0.81
• Peso rectangular	5.00	40.44	0.01	0.06
• Tiras de polietileno	2.00	16.18	0.06	0.50
• <i>Timer H - 3575</i>	38.00	307.34	0.01	0.07
• Placas rectangulares, 6.	14.82	119.88	0.01	0.06
• Plantilla rectangular de acero, 6.	20.13	162.80	0.01	0.08
<b>Sub-total</b>	<b>9551.95</b>	<b>77254.08</b>	<b>0.20</b>	<b>1.58</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	1.40	11.31
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>3.59</b>	<b>29.00</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			0.40	3.25
• Mantenimiento del equipo (5%)			0.11	0.89
• Depreciación del equipo (20%)			5.30	42.86
<b>Sub-total</b>			<b>5.81</b>	<b>47.00</b>
<b>Total</b>	<b>13385.54</b>	<b>108259.28</b>	<b>9.59</b>	<b>77.59</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 5 h

## 5.2.5 Propiedades del caucho en tensión (ASTM D 412 método A)

Tabla XVII. Análisis de costo de las propiedades del caucho

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber G212D1</i>	9472.00	76607.45	2.21	17.86
• Troquel tipo C	40.00	323.51	0.00	0.01
• <i>Tensile tester (Meets: ASTM Standards)</i>	20695.00	167376.61	0.71	5.73
• Molde	10.00	80.88	0.12	0.93
<b>Sub-total</b>	<b>30217.00</b>	<b>244388.45</b>	<b>3.03</b>	<b>24.53</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	2.80	22.62
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.28	10.36
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>5.20</b>	<b>42.04</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			9.34	75.52
• Mantenimiento del equipo (5%)			2.99	24.16
• Depreciación del equipo (20%)			11.95	96.64
<b>Sub-total</b>			<b>24.27</b>	<b>196.31</b>
<b>Total</b>	<b>34050.59</b>	<b>275393.65</b>	<b>32.50</b>	<b>262.88</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 5 h

## 5.2.6 Dureza (ASTM C 661)

**Tabla XVIII. Análisis de costo de dureza**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber G212D1</i>	9472.00	76607.45	2.39	19.33
• <i>Durometer type A-2 H-4222 A</i>	550.50	4452.32	0.03	0.23
• <i>Durometer type OO H-4222 E</i>	650.00	5257.06	0.03	0.27
• <i>Freezer</i>	493.00	3987.28	0.04	0.31
• Marco rectangular de cobre,2.	6.02	48.71	0.07	0.57
• Placa de aluminio,1.	4.94	39.96	0.06	0.47
<b>Sub-total</b>	<b>11176.46</b>	<b>90392.78</b>	<b>2.62</b>	<b>21.17</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	6.99	56.55
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>9.18</b>	<b>74.24</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			9.87	79.82
• Mantenimiento del equipo (5%)			2.56	20.68
• Depreciación del equipo (20%)			10.23	82.71
<b>Sub-total</b>			<b>22.65</b>	<b>183.21</b>
<b>Total</b>	<b>15010.05</b>	<b>121397.98</b>	<b>34.45</b>	<b>278.62</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 5 h

## 5.2.7 Ligazón sumergida en agua

**Tabla XIX. Análisis de costo de ligazón sumergida en agua**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber G212D1</i>	9472.00	76607.45	2.49	20.11
• Mezcla de concreto	6.18	50.00	6.18	50.00
• <i>Prism Molds H-3252</i>	1200.00	9705.34	1.54	12.45
• Sierra	295.61	2390.80	0.00	0.03
• Vibrador de laboratorio EI34-6430/02	1640.00	13263.96	0.00	0.04
• 6 espaciadores metálicos de 1/4" por 2" por 2"	1.46	11.79	0.00	0.02
• 6 espaciadores metálicos 1/2" por 3" por 1/2"	3.47	28.07	0.01	0.05
• 6 espaciador metálico 1" por 3" por 1/2"	6.75	54.57	0.01	0.10
• 3 placa de aluminio de 2.25" por 3"	15.69	126.90	0.03	0.24
• <i>Tensile tester (Meets: ASTM Standards)</i>	20695.00	167376.61	2.21	17.91
• <i>Cold chamber</i>	393.00	3178.50	0.03	0.22
<b>Sub-total</b>	<b>33729.15</b>	<b>272793.98</b>	<b>12.51</b>	<b>101.18</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	2.80	22.62
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>4.98</b>	<b>40.31</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			11.50	93.02
• Mantenimiento del equipo (5%)			5.60	45.30
• Depreciación del equipo (20%)			22.40	181.18
<b>Sub-total</b>			<b>39.50</b>	<b>319.50</b>
<b>Total</b>	<b>37562.74</b>	<b>303799.18</b>	<b>57.00</b>	<b>460.99</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 7.5 h

## 5.2.8 Ligazón no sumergida

**Tabla XX. Análisis de costo de ligazón no sumergida**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber G212D1</i>	9472.00	76607.45	2.20	17.78
• Mezcla de concreto	6.18	50.00	6.18	50.00
• <i>Prism Molds H-3252</i>	1200.00	9705.34	1.54	12.45
• Sierra	295.61	2390.80	0.00	0.03
• Vibrador de laboratorio EI34-6430/02	1640.00	13263.96	0.00	0.04
• 6 espaciadores metálicos de 1/4" por 2" por 2"	1.46	11.79	0.00	0.01
• 6 espaciadores metálicos 1/2" por 3" por 1/2"	3.47	28.07	0.00	0.02
• 6 espaciador metálico 1" por 3" por 1/2"	6.75	54.57	0.01	0.04
• 3 placa de aluminio de 2.25" por 3"	15.69	126.90	0.01	0.10
• <i>Tensile tester (Meets: ASTM Standards)</i>	20695.00	167376.61	2.21	17.91
• <i>Cold chamber</i>	393.00	3178.50	0.03	0.22
<b>Sub-total</b>	<b>33729.15</b>	<b>272793.98</b>	<b>12.19</b>	<b>98.60</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	2.80	22.62
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	2.13	17.27
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>6.05</b>	<b>48.95</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			10.52	85.07
• Mantenimiento del equipo (5%)			5.30	42.87
• Depreciación del equipo (20%)			21.20	171.48
<b>Sub-total</b>			<b>37.02</b>	<b>299.42</b>
<b>Total</b>	<b>37562.74</b>	<b>303799.18</b>	<b>55.26</b>	<b>446.97</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 7.5 h

## 5.2.9 Ligazón por envejecimiento por horno

**Tabla XXI. Análisis de costo de ligazón por envejecimiento por horno**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber G212D1</i>	9472.00	76607.45	2.20	17.78
• <i>Mezcla de concreto</i>	6.18	50.00	6.18	50.00
• <i>Prism Molds H-3252</i>	1200.00	9705.34	1.54	12.45
• Sierra	295.61	2390.80	0.00	0.03
• Vibrador de laboratorio EI34-6430/02	1640.00	13263.96	0.00	0.04
• 6 espaciadores metálicos de 1/4" por 2" por 2"	1.46	11.79	0.00	0.01
• 6 espaciadores metálicos 1/2" por 3" por 1/2"	3.47	28.07	0.00	0.02
• 6 espaciador metálico 1" por 3" por 1/2"	6.75	54.57	0.01	0.04
• 3 placa de aluminio de 2.25" por 3"	15.69	126.90	0.01	0.10
• <i>Oven forced air H-30125</i>	1150.00	9300.95	0.55	4.46
• <i>Tensile tester ( Meets: ASTM Standards)</i>	20695.00	167376.61	2.21	0.27
• <i>Cold chamber</i>	393.00	3178.50	0.03	0.22
<b>Sub-total</b>	<b>34879.15</b>	<b>282094.93</b>	<b>12.74</b>	<b>85.42</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	2.80	22.62
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>4.98</b>	<b>40.31</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			33.59	271.68
• Mantenimiento del equipo (5%)			5.86	47.39
• Depreciación del equipo (20%)			23.44	189.57
<b>Sub-total</b>			<b>62.89</b>	<b>508.64</b>
<b>Total</b>	<b>38712.74</b>	<b>313100.13</b>	<b>80.62</b>	<b>634.38</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 169 h

## 5.2.10 Resiliencia

**Tabla XXII. Análisis de costo de resiliencia**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber G212D1</i>	9472.00	76607.45	2.10	16.95
• <i>Tin can 6 oz. H-1350.3 A</i>	1.50	12.13	0.05	0.42
• <i>Water bath H-1383</i>	985.00	7966.46	0.02	0.14
• <i>Penetrometer H-1200</i>	2400.00	19410.67	0.04	0.33
• <i>Ball penetration tool H-1320</i>	260.00	2102.82	0.00	0.04
• <i>Oven forced air H-30125</i>	1150.00	9300.95	0.55	4.46
<b>Sub-total</b>	<b>14268.50</b>	<b>115400.49</b>	<b>2.76</b>	<b>22.34</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	2.10	16.97
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	2.13	17.27
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>5.35</b>	<b>43.29</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			24.08	194.78
• Mantenimiento del equipo (5%)			2.58	20.90
• Depreciación del equipo (20%)			10.34	83.60
<b>Sub-total</b>			<b>37.00</b>	<b>299.27</b>
<b>Total</b>	<b>18102.09</b>	<b>146405.69</b>	<b>45.12</b>	<b>364.90</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 169 h

### 5.3 Análisis de costo a sellantes tipo elástico, aplicado en caliente

#### 5.3.1 Penetración no sumergido (ASTM D 5329)

**Tabla XXIII. Análisis de costo de penetración no sumergida**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• Laboratory conditioning chamber/ G212D1	9472.00	76607.45	1.30	10.49
• Compound melting pots/H-2953	452.00	3655.68	0.01	0.09
• Agitador mecánico/EI24-4132/02	605.85	4899.98	0.02	0.13
• Tin can 6 oz./H-1350.3 A	1.50	12.13	0.00	0.02
• Water bath/H-1383	985.00	7966.46	0.03	0.27
• Penetrómetro de cono + accesorios/EI-24-0540	2087.91	16886.56	0.04	0.29
<b>Sub-total</b>	<b>13604.26</b>	<b>110028.26</b>	<b>1.40</b>	<b>11.30</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	2.80	22.62
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	0.64	5.18
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>4.56</b>	<b>36.86</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			5.49	44.37
• Mantenimiento del equipo (5%)			1.41	11.43
• Depreciación del equipo (20%)			5.66	45.74
<b>Sub-total</b>			<b>12.55</b>	<b>101.54</b>
<b>Total</b>	<b>17437.85</b>	<b>141033.46</b>	<b>18.51</b>	<b>149.70</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 3 h

#### 5.3.2 Flujo (ASTM D 5329)

**Tabla XXIV. Análisis de costo de flujo**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• Laboratory conditioning chamber G212D1	9472.00	76607.45	2.60	20.99
• Compound melting pots H-2953	452.00	3655.68	0.01	0.09
• Agitador mecánico EI24-4132/02	605.85	4899.98	0.02	0.13
• Moldes	4.00	32.35	0.00	0.02
• Oven forced air H-30125	1150.00	9300.95	0.10	0.80
<b>Sub-total</b>	<b>11683.85</b>	<b>94496.41</b>	<b>2.72</b>	<b>22.03</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	0.35	2.83
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	0.64	5.18
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>2.11</b>	<b>17.07</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			12.10	97.84
• Mantenimiento del equipo (5%)			2.76	22.32
• Depreciación del equipo (20%)			11.04	89.26
<b>Sub-total</b>			<b>25.89</b>	<b>209.41</b>
<b>Total</b>	<b>15517.44</b>	<b>125501.61</b>	<b>30.73</b>	<b>248.51</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 5.5 h

## 5.4 Análisis de costo a sellantes tipo elastomérico, aplicación en caliente

### 5.4.1 Penetración no sumergido (ASTM D 5329)

Tabla XXV. Análisis de costo de penetración no sumergida

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• Laboratory conditioning chamber/ G212D1	9472.00	76607.45	0.43	3.50
• Compound melting pots/H-2953	452.00	3655.68	0.05	0.41
• Agitador mecánico/EI24-4132/02	605.85	4899.98	0.07	0.55
• Tin can 6 oz./H-1350.3 A	1.50	12.13	0.01	0.06
• Water bath/H-1383	985.00	7966.46	0.02	0.14
• Penetrómetro de cono + accesorios/EI-24-0540	2087.91	16886.56	0.04	0.29
<b>Sub-total</b>	<b>13604.26</b>	<b>110028.26</b>	<b>0.61</b>	<b>4.94</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	1.40	11.31
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>3.59</b>	<b>29.00</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			1.87	15.15
• Mantenimiento del equipo (5%)			0.51	4.09
• Depreciación del equipo (20%)			2.02	16.36
<b>Sub-total</b>			<b>4.40</b>	<b>35.60</b>
<b>Total</b>	<b>17437.85</b>	<b>141033.46</b>	<b>8.60</b>	<b>69.54</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 3 h

### 5.4.2 Flujo

Tabla XXVI. Análisis de costo de flujo

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• Laboratory conditioning chamber G212D1	9472.00	76607.45	0.58	4.66
• Compound melting pots H-2953	452.00	3655.68	0.01	0.05
• Agitador mecánico EI24-4132/02	605.85	4899.98	0.01	0.06
• Moldes	4.00	32.35	0.01	0.11
• Oven forced air H-30125	1150.00	9300.95	0.24	1.91
<b>Sub-total</b>	<b>11683.85</b>	<b>94496.41</b>	<b>0.84</b>	<b>6.79</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	1.40	11.31
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>3.59</b>	<b>29.00</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			12.81	103.59
• Mantenimiento del equipo (5%)			0.84	6.80
• Depreciación del equipo (20%)			3.36	27.20
<b>Sub-total</b>			<b>17.01</b>	<b>137.59</b>
<b>Total</b>	<b>15517.44</b>	<b>125501.61</b>	<b>21.44</b>	<b>173.38</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 2 h

### 5.4.3 Ligazón no sumergida (ASTM D 5329)

**Tabla XXVII. Análisis de costo ligazón no sumergida**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber G212D1</i>	9472.00	76607.45	2.49	20.11
• <i>Compound melting pots H-2953</i>	452.00	3655.68	0.01	0.05
• Agitador mecánico EI24-4132/02	605.85	4899.98	0.01	0.06
• Mezcla de concreto	6.18	50.00	6.18	50.00
• <i>Prism Molds H-3252</i>	1200.00	9705.34	1.54	12.45
• Sierra	295.61	2390.80	0.01	0.08
• Vibrador de laboratorio EI34-6430/02	1640.00	13263.96	0.01	0.11
• 6 espaciadores metálicos de 1/4" por 2" por 2"	1.46	11.79	0.00	0.02
• 6 espaciadores metálicos 1/2" por 3" por 1/2"	3.47	28.07	0.01	0.05
• 6 espaciador metálico 1" por 3" por 1/2"	6.75	54.57	0.01	0.10
• 3 placa de aluminio de 2.25" por 3"	15.69	126.90	0.03	0.24
• <i>Tensile tester ( Meets: ASTM Standards)</i>	20695.00	167376.61	2.21	17.91
• <i>Cold chamber</i>	393.00	3178.50	0.03	0.22
<b>Sub-total</b>	<b>34787.00</b>	<b>281349.64</b>	<b>12.54</b>	<b>101.41</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	2.80	22.62
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>4.98</b>	<b>40.31</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			11.80	95.41
• Mantenimiento del equipo (5%)			6.01	48.61
• Depreciación del equipo (20%)			24.04	194.44
<b>Sub-total</b>			<b>41.85</b>	<b>338.46</b>
<b>Total</b>	<b>38620.59</b>	<b>312354.84</b>	<b>59.37</b>	<b>480.19</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 7.5 h

#### 5.4.4 Ligazón sumergida en agua

**Tabla XXVIII. Análisis de costo de ligazón sumergida en agua**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber G212D1</i>	9472.00	76607.45	2.49	20.11
• <i>Compound melting pots H-2953</i>	452.00	3655.68	0.01	0.05
• Agitador mecánico EI24-4132/02	605.85	4899.98	0.01	0.06
• Mezcla de concreto	6.18	50.00	6.18	50.00
• <i>Prism Molds H-3252</i>	1200.00	9705.34	2.31	18.67
• Sierra	295.61	2390.80	0.01	0.04
• Vibrador de laboratorio EI34-6430/02	1640.00	13263.96	0.01	0.06
• 6 espaciadores metálicos de 1/4" por 2" por 2"	1.46	11.79	0.00	0.02
• 6 espaciadores metálicos 1/2" por 3" por 1/2"	3.47	28.07	0.01	0.05
• 6 espaciador metálico 1" por 3" por 1/2"	6.75	54.57	0.01	0.10
• 3 placa de aluminio de 2.25" por 3"	15.69	126.90	0.03	0.24
• <i>Tensile tester ( Meets: ASTM Standards)</i>	20695.00	167376.61	2.21	17.91
• <i>Cold chamber</i>	393.00	3178.50	0.03	0.22
<b>Sub-total</b>	<b>34787.00</b>	<b>281349.64</b>	<b>13.30</b>	<b>107.54</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	2.80	22.62
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>4.98</b>	<b>40.31</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			11.79	95.38
• Mantenimiento del equipo (5%)			6.01	48.61
• Depreciación del equipo (20%)			24.04	194.44
<b>Sub-total</b>			<b>41.84</b>	<b>338.43</b>
<b>Total</b>	<b>38620.59</b>	<b>312354.84</b>	<b>60.13</b>	<b>486.28</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 7.5 h

#### 5.4.5 Resiliencia (ASTM D 5329)

Tabla XXIX. Análisis de costo de resiliencia

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• Laboratory conditioning chamber G212D1	9472.00	76607.45	0.43	3.50
• Compound melting pots H-2953	452.00	3655.68	0.01	0.05
• Agitador mecánico EI24-4132/02	605.85	4899.98	0.01	0.06
• Tin can 6 oz. H-1350.3 A	1.50	12.13	0.01	0.06
• Water bath H-1383	985.00	7966.46	0.01	0.09
• Penetrometer H-1200	2400.00	19410.67	0.04	0.33
• Ball penetration tool H-1320	260.00	2102.82	0.00	0.04
<b>Sub-total</b>	<b>13916.35</b>	<b>112552.38</b>	<b>0.51</b>	<b>4.09</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	1.40	11.31
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>3.59</b>	<b>29.00</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			1.87	15.15
• Mantenimiento del equipo (5%)			0.51	4.12
• Depreciación del equipo (20%)			2.04	16.50
<b>Sub-total</b>			<b>4.42</b>	<b>35.78</b>
<b>Total</b>	<b>17749.94</b>	<b>143557.58</b>	<b>8.52</b>	<b>68.87</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

tiempo aproximado de ensayo 3 h

#### 5.4.6 Resiliencia por envejecimiento por horno (ASTM D 5329)

Tabla XXX. Análisis de costo de resiliencia por envejecimiento por horno

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• Laboratory conditioning chamber G212D1	9472.00	76607.45	0.43	3.50
• Compound melting pots H-2953	452.00	3655.68	0.01	0.05
• Agitador mecánico EI24-4132/02	605.85	4899.98	0.01	0.06
• Tin can 6 oz. H-1350.3 A	1.50	12.13	0.01	0.06
• Water bath H-1383	985.00	7966.46	0.01	0.09
• Penetrometer H-1200	2400.00	19410.67	0.04	0.33
• Ball penetration tool H-1320	260.00	2102.82	0.00	0.04
• Oven forced air H-30125	1150.00	9300.95	0.16	1.27
<b>Sub-total</b>	<b>15326.35</b>	<b>123956.15</b>	<b>0.67</b>	<b>5.40</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	2.10	16.97
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	2.13	17.27
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>5.35</b>	<b>43.29</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			8.57	69.30
• Mantenimiento del equipo (5%)			0.67	5.42
• Depreciación del equipo (20%)			2.68	21.67
<b>Sub-total</b>			<b>11.92</b>	<b>96.38</b>
<b>Total</b>	<b>19159.94</b>	<b>154961.35</b>	<b>17.94</b>	<b>145.07</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 25 h

## 5.4.7 Tensión – adhesión

**Tabla XXXI. Análisis de costo de tensión-adhesión**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber G212D1</i>	9472.00	76607.45	2.49	20.11
• <i>Compound melting pots H-2953</i>	452.00	3655.68	0.01	0.05
• Agitador mecánico EI24-4132/02	605.85	4899.98	0.01	0.06
• Mezcla de concreto	6.18	50.00	6.18	50.00
• <i>Prism Molds H-3252</i>	1200.00	9705.34	1.54	12.45
• Sierra	295.61	2390.80	0.00	0.03
• Vibrador de laboratorio EI34-6430/02	1640.00	13263.96	0.00	0.04
• 6 espaciadores metálicos de 1/4" por 2" por 2"	1.46	11.79	0.00	0.02
• 6 espaciadores metálicos 1/2" por 3" por 1/2"	3.47	28.07	0.01	0.05
• 6 espaciador metálico 1" por 3" por 1/2"	6.75	54.57	0.01	0.10
• 3 placa de aluminio de 2.25" por 3"	15.69	126.90	0.03	0.24
• <i>Tensile tester ( Meets: ASTM Standards)</i>	20695.00	167376.61	0.53	4.30
<b>Sub-total</b>	<b>34394.00</b>	<b>278171.14</b>	<b>10.81</b>	<b>87.45</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	2.80	22.62
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>4.98</b>	<b>40.31</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			10.76	87.02
• Mantenimiento del equipo (5%)			3.88	31.38
• Depreciación del equipo (20%)			15.52	125.52
<b>Sub-total</b>			<b>30.16</b>	<b>243.92</b>
<b>Total</b>	<b>38227.59</b>	<b>309176.34</b>	<b>45.96</b>	<b>371.69</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 5 h

## 5.4.8 Flexibilidad (ASTM D 5329)

**Tabla XXXII. Análisis de costo de flexibilidad**

Equipo/modelo	Costo Mensual		Costo por ensayo	
	\$	Q	\$	Q
• <i>Laboratory conditioning chamber</i> G212D1	9472.00	76607.45	0.58	4.66
• <i>Compound melting pots</i> H-2953	452.00	3655.68	0.01	0.05
• Agitador mecánico EI24-4132/02	605.85	4899.98	0.01	0.06
• Moldes	4.00	32.35	0.01	0.11
• <i>Oven forced air</i> H-30125	1150.00	9300.95	0.24	1.91
<b>Sub-total</b>	<b>11683.85</b>	<b>94496.41</b>	<b>0.85</b>	<b>6.79</b>
<b>Gastos administrativos</b>				
• Laboratorista	335.72	2715.20	1.40	11.31
• Jefe de sección	1024.76	8288.00	1.07	8.63
• Area administrativa	2095.26	16946.00	0.73	5.88
• Mantenimiento del edificio	377.85	3056.00	0.39	3.18
<b>Sub-total</b>	<b>3833.59</b>	<b>31005.20</b>	<b>3.59</b>	<b>29.00</b>
<b>Gastos de operación</b>				
• Energía eléctrica			12.81	103.59
• Mantenimiento del equipo (5%)			0.84	6.80
• Depreciación del equipo (20%)			3.36	27.20
<b>Sub-total</b>			<b>17.01</b>	<b>137.59</b>
<b>Total</b>	<b>15517.44</b>	<b>125501.61</b>	<b>21.45</b>	<b>173.38</b>

\*Tasa de cambio marzo 9, 2004: \$ 1.00 = Q 8.08778

Tiempo aproximado de ensayo 2 h

A continuación se presenta en tabla XXXIII el resumen costo equipo y costo ensayo de la implementación de los ensayos en la Sección de Mecánica de Suelos.

**Tabla XXXIII. Costo de implementación de ensayos**

Especificación	Costo Equipo		Costo ensayo	
	\$	Q	\$	Q
<b>Sellante de silicón, aplicación en frío</b>				
• Evaluación de propiedades reológicas				
Sellante tipo <i>self-leveling</i> (ASTM C 639)	9903.00	80093.29	6.30	50.93
Sellante tipo <i>non-sag</i> (ASTM D 2202)	10607.00	85787.08	13.89	112.34
• Tasa de extrusión (ASTM C 1183), sellante tipo S	10532.21	85182.20	3.23	26.15
• Flujo (ASTM D 5329)	10626.00	85940.75	32.31	261.28
• Período <i>tack-free</i> (ASTM C 679)	9551.95	77254.08	9.59	77.59
• Propiedades del caucho en tensión	30217.00	244388.45	32.50	262.88
• Dureza (ASTM C 661)	11176.46	90392.78	34.45	278.62
• Ligazón sumergida en agua	33729.15	272793.98	57.00	460.99
• Ligazón no sumergida	33729.15	272793.98	55.26	446.97
• Ligazón por envejecimiento por horno	34879.15	282094.89	80.617	634.376
• Resiliencia	14268.50	115400.49	45.12	364.90
<b>Sellante tipo elástico, aplicado en caliente</b>				
• Penetración no sumergido (ASTM D 5329)	13604.26	110028.26	18.51	149.70
• Flujo (ASTM D 5329)	11683.85	94496.41	30.73	248.51
<b>Sellante tipo elastomérico, aplicación en caliente</b>				
• Penetración no sumergido (ASTM D 5329)	13604.26	110028.26	8.60	69.54
• Flujo	11683.85	94496.41	21.44	173.38
• Ligazón no sumergida (ASTM D 5329)	34787.00	281349.64	59.37	480.19
• Ligazón sumergida en agua	34799.37	281449.63	60.13	486.28
• Resiliencia (ASTM D 5329)	13916.35	112552.38	8.52	68.87
• Resiliencia por envejecimiento por horno (ASTM D 5329)	15326.35	123956.15	17.94	145.07
• Tensión – adhesión	34394.00	278171.14	45.96	371.69
• Flexibilidad (ASTM D 5329)	11683.85	94496.41	21.45	173.38

## CONCLUSIONES

1. El Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII, no cuenta con equipo necesario para realizar ensayos de control de calidad en materiales sellantes aplicados en juntas de pavimentos de concreto, regidos por la norma ASTM, que especifica los requisitos físicos que debe cumplir el sellante para ser aplicado en el pavimento.
2. La función del control de calidad del material sellante para juntas de pavimentos de concreto, es evaluar si éstos materiales cumplen con las propiedades físicas para determinar su durabilidad cuando se aplique al pavimento.
3. Se presenta un manual que describe cada método de ensayo que se deben realizar a los materiales sellantes, aplicados en frío o en caliente en las juntas de pavimento de concreto, especificando los requisitos físicos que deben cumplir al ser ensayados bajo las normas ASTM; como también, la descripción de equipo y moldes necesarios para su ejecución.
4. Los ensayos que el CII debe realizar, para determinar si los materiales sellantes para juntas en pavimentos de concreto cumplen con los requerimientos dados por las normas ASTM son: penetración no sumergido, flujo, ligazón, resiliencia, resiliencia por envejecimiento por horno, tensión-adhesión y flexibilidad, ya que en Guatemala es más común aplicar el sellante en caliente en juntas de pavimento de concreto.

5. El costo de los ensayos tiene un precio accesible de venta a las empresas que producen material sellante, aplicado en juntas de pavimento de concreto; el cual hasta estas fechas no se lleva como institución científica y tecnológica, un registro de la calidad de sus productos.
6. La implementación de un laboratorio que realice el control de calidad del material sellante, permitirá la actualización tecnológica del laboratorio de Mecánica de Suelos, de esta manera estará a la vanguardia, pudiendo suplir las necesidades que el país vaya requiriendo respecto a esta área.
7. Los ensayos proporcionarán una base de datos, que permitirán la investigación para proponer mejoras en las propiedades físicas de los materiales sellantes

## RECOMENDACIONES

1. Por ser más común en Guatemala el uso de sellantes aplicados en caliente en juntas de pavimentos de concreto, se propone que se implemente en el Laboratorio de Mecánica de Suelos los ensayos que cubre esta área.
2. Por tratarse de propiedades físicas y no químicas, lo que se ha estado evaluando al asfalto, se recomienda que estos ensayos se realicen en el Laboratorio de Mecánica de Suelos.
3. La implementación del laboratorio del control de calidad del material sellante no solo ayudará a la actualización tecnológica del Laboratorio de Mecánica de Suelos, sino también, al desarrollo académico del estudiante de Ingeniería Civil, en el área de carreteras, ya que se cuenta con una educación muy pobre respecto a esta área.
4. Al momento de implementar los ensayos de control de calidad del material sellante en el laboratorio, será necesario capacitar al personal para la optimización del equipo y no correr riesgos en el mal uso de los mismos, que conllevaría a una pérdida económica innecesaria al CII.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Annual Book of ASTM Standards. **Building seals and sealants; fire standards; dimension stone.** (Section 4 Construction. Volume 04.07). 2003.
2. Annual Book of ASTM Standards. **Concrete and aggregates.** (Section 4 Construction. Volume 04.02). 1990.
3. Annual Book of ASTM Standards. **Road and paving materials, vehicle pavement systems.** (Section 4 Construction. Volume 04.03). 2003.
4. Axt Mull, Ana Judith. Diseño de juntas en pavimentos rígidos y diseño del pavimento de un sector de Quetzaltenango. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1991.
5. **Concrete streets: typical pavement sections and jointing details.** Portland Cement Association PCA 1980.
6. **Consumo de energía eléctrica por aparato.** [www.eegsa.com./servicios/consejos](http://www.eegsa.com./servicios/consejos). Marzo 2004.
7. Coronado I., Jorge. **Catálogo centroamericano de daños a pavimentos viales.** Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centro América COMITRAN y Secretaría de Integración Económica Centroamericana SIECA. Guatemala, 2000.
8. **Diseño de juntas en pavimentos de concreto.** [www.superestrada.com.br](http://www.superestrada.com.br). Septiembre 2003.
9. **Equipo de laboratorio.** [www.qcinternational.com](http://www.qcinternational.com). Diciembre 2003. Guatemala.
10. **How to reseal pavement joint.** Concrete repair digest. American Concrete Pavement Association ACPA. Abril/mayo 1995.

11. Londoño N. Cipriano A. **Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto.** Instituto Colombiano de productores de cemento ICPC. s.a.
12. **Manual introductorio de supervisión y construcción de pavimentos rígidos.** Dirección General de la Unidad de Control de Calidad y Laboratorio y Secretaria de Obras Publicas Gobierno del Estado de Aguascalientes, México 2002.
13. **M5.2 Catálogo de deterioros de pavimentos rígidos.** Consejo de Directores de carreteras de Iberia e Iberoamérica. Colección de documentos. Volumen No.12. 2002.
14. **Pavimentos urbanos de concreto de cemento portland.** Asociación Centroamericana del Cemento y Concreto. Publicación especial. 2002.
15. Ramírez, Juan Antonio. **Juntas en los pisos y pavimentos de concreto.** Asesoría, Concreto & Construcción. [www.grupo-acc.com](http://www.grupo-acc.com). Septiembre 2003. Guatemala.
16. **Specification Synthesis and Recommendations for Repairing Uncontrolled Cracks that Occur during Concrete Pavement Construction.** American Concrete Pavement Association. Abril 2000.
17. **Tipo de cambio de referencia.** Banco de Guatemala. [www.banguat.gob.gt](http://www.banguat.gob.gt). Marzo 2004.
18. Trout John. **El asesinato de las carreteras.** [www.lilycorp.com](http://www.lilycorp.com) . Lily Corporation - 2000.

## **ANEXO**

**Tabla XXXIV. Proforma de equipo para la construcción**



COTIZACION 286-03  
Guatemala, 30 de septiembre de 2003

Ingeniera  
Amalia Morales  
C.II. USAC.  
Pte.

Estimada Ing. Morales.

Por medio de la presente ponemos a su consideración la siguiente proforma de equipo para la construcción:

ITEM	CANT	CODIGO	DESCRIPCION	PRE. UNI	PRE. TOT
1	1	H-1200	Penetrometro Universal	2,400.00	2,400.00
2	2	H-1320	Aguja punta bola	260.00	260.00
3	1	H-1255	Aguja endurecida	185.00	185.00
4	1	H-2525	Remplazo de acero	85.00	85.00
5	1	H-30115	Horno de 35lts. Cap. Conveccion forzada 200C	1,050.00	1,050.00
6	1	H-30105	Horno de 20lts. Cap. Conveccion forzada 200C	875.00	875.00
7	1	H-30100	Horno de 35lts. Cap. Conveccion natural 200C	635.00	635.00
8	1	H-4908	Espatula	9.20	9.20
9	1	H-3575	Timer	38.00	38.00
10	1	H-4724	Balanza Ohaus Scout Pro400g.x0.01g	275.00	275.00
11	1	H-30131	Horno de 98l. Cap. Conveccion forzada 225C.	1,450.00	1,450.00

PRECIO EN USDS O SU EQUIVALENTE EN QUETZALES SEGUN LA TASA DE CAMBIO DEL DIA DE LOS PAGOS

TIEMPO DE ENTREGA: 2 - 4 SEMANAS.

FORMA DE PAGO: A CONVENIR.

Sin otro particular y en espera de poder servirle.

Atentamente,

**Willian Guzman Tello**

ANILLO PERIFERICO 17 Av. 22-77. Zona 11 G.&T. III (Frente a Gasolinera Faso Charcas).  
Teléfax: 476-3468, 716-3246, 308-9090 E-mail: beta@emigo.net.gt

Tabla XXXV. Proforma de equipo de laboratorio



COTIZACION 65-04  
Guatemala, 19 de febrero de 2004

Señorita  
Amalia Morales  
Pte.

Estimada Srta. Morales

Por este medio ponemos a su consideración la siguiente proforma de equipo de laboratorio marca Humboldt, USA

ITEM	QTY	COD	DESCRIPCION	P. UNIT	P. TOT
1	1	H-3252	Molde para prismas de 1x1x10 sencillo	1,200.00	1,200.00
2	1	H-4144	Regla para rasadora para CBR de 12	250.00	250.00
3	1	H-2953	Olla para azufre de 4 qt. De capacidad	438.00	438.00
4	1	H-2958	Cucharon para azufre	14.00	14.00

PRECIOS EN USD\$

FORMA DE PAGO: CONTADO CONTRA ENTREGA

TIEMPO DE ENTREGA: 3 A 4 SEMANAS

Sin otro particular que informar y en espera de poder servirle,  
Agradecemos,

Wilber Guzman Tello

ANILLO PERIFERICO 17 Av. 22-77, Zona 11 G&T, III (Frente a Gasolinera Esso Charcas)  
Telefax: 476-3468, 716-3246, 308-9090 E-mail: beta@amigo.net.gt

Tabla XXXVI. Proforma de equipo de laboratorio marca Humboldt USA.



COTIZACION 70-04  
Guatemala, 23 de febrero de 2004

Señorita  
Amalia Morales.  
Pte

Estimada Srta Morales

Por este medio ponemos a su consideración la siguiente proforma de equipo de laboratorio marca Humboldt USA.

Cone penetration			
1	1 H-1200	Penetrometro	2,400.00 2,400.00
2	1 H-2520	Agua cono para penetracion	260.00 260.00
3	1 H-1383	Baño de mara	985.00 985.00
Flow flex			
4	1 H-30120	Horno conveccion natural +- 2F	785.00 785.00
Bond non imm.			
5	1 H-3185	Camara fria con control de temperatura	25,254.00 25,254.00
6	1 H-30126	Horno conveccion natural +- 1C	960.00 960.00
Resilience oven aged			
7	1 H-1200	Penetrometro	2,400.00 2,400.00
8	1 H-1320	Aguja bola para penetracion	260.00 260.00
9	1 H-1350.3A	Recipientes	1.50 1.50
10	1 H-1383	Baño de mara	985.00 985.00
11	1 H-30125	Horno conveccion forzada +- 2F	1,150.00 1,150.00

PRECIOS EN US\$

FORMA DE PAGO CONTADO CONTRA ENTREGA

TIEMPO DE ENTREGA 3 A 4 SEMANAS

Sin otro particular que informar y en espera de poder servirle.  
Atentamente,

Willian Guzman Tello

ANILLO PERIFERICO 17 Av. 22-77, Zona 11 G.&T. III (Frente a Gasolinera Esso Charcas)  
Telefax: 476-3468, 716-3248, 308-9090 E-mail: beta@amigo.net.gt

**Tabla XXXVII. Proforma de material para laboratorio**

**METALES INDUSTRIALES DE GUATEM**  
 5A CALLE, Z-64 ZONA 13  
 P.O. BOX 473-6297 - 4752717 FAX 472-0718  
 E-MAIL: metalgua@metalesindustriales.com

**PROFORMA**

Cliente: CLIENTE PARA COTIZAR  
 Atencion: SRITA AMALIA MORALES  
 Fecha: 24/1 febrero / 2004

No. 10838

Tenemos el agrado de someterle a su consideración los siguientes productos:

Expresados en Quetzales

PIEZAS	LARGO	TOTAL	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	PRECIO UNITARIO	TOTAL PRODUCTO
1.0000	1.0000	1.00	ACERO INOX. 304-20 LAMINA 1/16"X4"8"	1.550.0000	1.550.00
18.0000	0.0130	0.23	ACERO BOHLER K-460 PLAT. 76.2*25.4MM	699.5897	163.70
18.0000	0.0130	0.23	ACERO BOHLER K-460 PLAT. 50.8*6.4MM	151.1848	35.37
18.0000	0.0130	0.23	ACERO BOHLER K-460 PLAT. 76.2*12.7MM	359.8885	84.21
3.0000	0.1270	0.38	COBRE ELECTROLITICO PLATINA 1/8"1 1/2"	82.4320	31.41
5.0000	0.1270	0.64	COBRE ELECTROLITICO PLATINA 1/4"1 1/2"	191.7662	121.77
9.0000	0.0765	0.69	ALUMINIO 6061-T6511 REDONDO 2 1/2"	552.9456	380.70
3.0000	0.1530	0.45	ALUMINIO 6061-T6511 PLATINA 3/8"3"	130.5893	59.94
8.0000	0.1530	1.22	ALUMINIO 6061-T6511 PLATINA 3/8"3"	130.5893	159.84
3.0000	0.1270	0.38	NO VENDER ELECTROLITICO PLATINA 1/4"4"	427.2975	162.80
<b>TOTA</b>					<b>2,749.75</b>

**OBSERVACIONES**

Tiempo de Entrega: INMEDIATA  
 Vigencia de la oferta: 1 Semana a partir de la presente.  
 Condiciones de pago: Contado Crédito 50 % de Anticipo  
 Estos precios ya incluyen I.V.A. y su Porcentaje de Descuento Especial  
 Queriendo a sus ordenes para cualquier duda o aclaración se suscribe  
 Atentamente,

**JOHANA DE MENDOZA**  
 Representante de Ventas

Importadora de Metales para la industria, Aceros Finos, Cold Chilli, 705, 718, k. 100, D.Z. Fleje, Hierro  
 Fundido, Aceros Inoxidable, Barra Perforada, Aluminio, Plásticos, Etilaxel, Ertalon, Teflón, Bronceas, Fosforado  
 Láminas de Acero Inox., Latonado, Grafitado, PB1, Cobre, Esmeriles, Uretra, Resistencias.

**Tabla XXXVIII. Cotización de *laboratory conditioning chamber* (G212D1)**



Señores **UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

11 de Marzo de 2004

Attn: Inga. Amalia Morales

**COTIZACION**  
# 2039

Estimados señores:

De acuerdo a sus requerimientos tenemos el gusto de cotizarles los siguientes equipos solicitados por ustedes, como se detalla a continuación:

Descripción	Cant	Precio
<b>SDLATLAS</b>		
<b>LABORATORY CONDITIONING CHAMBER (G212D1)</b> To condition samples prior to testing. Provides conditions from 20% to 98% RH +/- 2% and 0C to 94C +/- 0.5C. Provided with manual Digitalset digital indicating controller for temperature and humidity. Stainless steel shell, 2 positions. Forced air circulation. Two inch access port and plug on left wall. Self-contained heating, refrigeration and steam generator humidifier. Vapor-tight welded stainless steel interior. Capacity 1.5 cu.ft./42 liters."	1	\$8,687.00
<b>Optional Extras:</b>		
<b>TWO-CHANNEL AUTOMATIC PROGRAMMER (G212D4)</b> \$1,918.00 With ramp and soak facilities (optional).		
<b>SELF-CONTAINED RECIRCULATING HUMIDITY SYSTEM (212D5)</b> With 6 gal./24 liter reservoir (obviates need for piped deionized or \$ 1,714.00 demineralized water) (optional).		

Tiempo de Entrega: 8 Semanas Forma de Pago: 500% anticipado 50% Momento de Embarque

Sub-Total	\$8,687.00
Manejo y Flete	\$550.00
Embalaje	\$235.00
Impuestos	N/A
<b>Total</b>	<b>\$9,472.00</b>

(\*CIF Guate City\*)

- \* Todos nuestros equipos los respaldamos con Mantenimiento, Servicio, Repuestos y Un año de garantía.
- \* Cotización Valida 30 dias.

Sin más por el momento y esperando que esta cotización sea de su aprobación.

Atentamente,

**Frederick Herbruger**  
Representante de Ventas

Avenida Las Americas 24-42 Zona 13, Edificio Villa Victoria, Local # 3  
Guatemala City, Guatemala  
Telefonos (502) 333-3542, 331-9276 Fax (502) 333-3477  
mqusa@intelnor.net.gt

Tabla XXXIX. Cotización de *tensile tester*



Señores UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

11 de Marzo de 2004

Attn: Inga. Amalia Morales

**COTIZACION**  
# 2040

Estimados señores:  
De acuerdo a sus requerimientos tenemos el gusto de cotizarles los siguientes equipos solicitados por ustedes, como se detalla a continuación:

Descripción	Cant	Precio
<b>TENSILE TESTER ( Meets: ASTM Standards)</b>		
<b>AccuTest/502 Computerized Test System</b> AccuTest II Microprocessor, the Standard AccuView "Test" and "Monitor" Software, AccuTest Load Frame, Selection of one load cell with the system (500, 250, 100, 50 or 10 pound capacities) All cables and Connectors.	1	\$16,500.00
* (Pair) A-5 Manual Flat Clamps Anvils (1" x 1") Max Opening 14"	1	\$1,080.00
* (Pair) Pneumatic A-2 Air Clamps (1" x 1"), 150 lb Maximum Capacity, Op. Pressure 50-70 psi	1	\$1,115.00
* Set (Pair)Ruberized Anvils	1	\$375.00
* Single Pedal Electronic Air Controls	1	\$815.00
<b>Includes:</b> ½ day In-Plant Training for two (2) trainees		
<b>Options</b> Service and calibration program available		
<b>Note:</b> Minimum computer requirements (Not included) for all AccuView Software are: IBM compatibility, Windows 95, NT, 98, 2000, XP; 500 Mhz Pentium 3 Processor, 128 MB RAM, CD ROM, 3.25" Floppy Drive 15" SVGA Color Monitor, Epson Stylus C80 Color Inkjet Printer A "turnkey" system can be provided at current market prices.		

Tiempo de Entrega: 9 Semanas. Forma de Pago: 500% anticipado 50% Momento de Embarque		
	Sub-Total	\$19,885.00
* Todos nuestros equipos los respaldamos con Mantenimiento, Servicio, Repuestos y Un año de garantía.	Manejo y Flete	\$575.00
* Cotización Valida 30 dias.	Embalaje	\$235.00
	Impuestos	N/A
	<b>Total</b>	<b>\$20,695.00</b>

(\*CIF Guate City\*)

Sin más por el momento y esperando que esta cotización sea de su aprobación.

Atentamente,

Frederick Herbruger  
Representante de Ventas

Avenida Las Americas 24-42 Zona 13, Edificio Villa Victoria, Local # 3  
Guatemala City, Guatemala  
Teléfonos ( 502) 330-3542, 331-4078 Fax (502) 330-3477  
mgon@rainet.net.gt