

Evaluación de Selladores de Asfalto para Grietas por Medidor de Tensión Directa (DTT)

Delmar Salomón*

Gerente General

Pavement Preservation Systems, LLC

P.O. Box 140614

Boise, Idaho 83714

TEL 208-672-1977, FAX 208-672-0021

Correo electrónico: dsalomon@mindspring.com

*Autor Corresponsal

Huachun Zhai

Integrated Asphalt Solutions, LLC

2627 Brandt Ave., Nampa, ID 83687, USA

TEL 208-442-7742, FAX 208-463-0679

Resumen

Es crítico diferenciar las propiedades de los selladores de asfalto para grietas con el fin de monitorear su desempeño a baja temperatura. Los métodos de prueba actuales, como los detallados en ASTM D5329, no proveen una forma efectiva de relacionar los resultados de pruebas con el desempeño en el campo. Se propone un método nuevo para clasificar los selladores asfálticos usando un instrumento SuperpaveTM, Direct Tension Tester (DTT, por sus siglas en inglés), con el que se deriva un índice de tensión térmica (I_T) con valores de 0 a 100 para los selladores. El DTT es un instrumento diseñado para estudiar las propiedades reológicas de ligantes asfálticos a baja temperatura. La prueba con el DTT consiste en el estiramiento de la muestra a una temperatura fija con el propósito de estudiar su mecanismo de falla de tensión y deformación. En este ensayo se uso el DTT para estudiar la acumulación de esfuerzo térmico de los selladores cuando la temperatura baja de 5 °C a -30 °C. El esfuerzo térmico debido a la contracción del sellador se grafica con respecto a su temperatura. También, se midió el esfuerzo de tensión y la deformación a -29 °C de los diferentes selladores. Esta prueba del DTT es similar al de Tensión Térmica de Retención de Muestra (TSRST, por sus siglas en inglés), la cual se lleva acabo con los extremos fijos de la muestra. Además, se demuestra que el índice de tensión térmica (I_T) desminuye a medida que se modifica un asfalto modelo con polímero. Los selladores tienen mayor probabilidad de acumular tensión térmica mientras más alto sea su índice I_T y por lo tanto mayor propensión de fallar. Los resultados indican que el índice de tensión térmica (I_T) derivado del DTT puede ser usado para diferenciar los selladores de asfalto para grietas, tanto de aplicación en frío y caliente.

1.0 Introducción

El sellado de grietas es una de las mayores prácticas usadas para impedir el deterioro de los pavimentos para evitar la penetración de agua a la estructura subyacente del pavimento. El sellador de grietas, correctamente aplicado, impide una degradación mayor y prolonga la vida del pavimento [1-3]. Entre los diferentes materiales usados para el sellado y el rellenado de grietas, los selladores asfálticos son de los materiales más comunes. Los selladores de grietas de asfalto se aplican en caliente o en frío, basado en su temperatura de aplicación. Ambos tipos de selladores de asfalto están altamente modificados con polímeros y otros aditivos. Los selladores de grietas de asfalto han sido aplicados exitosamente en climas calientes con una durabilidad prevista [4,5]. Sin embargo, los selladores de grietas de asfalto a menudo sufren de fallas de cohesión y adhesión en climas fríos, donde son expuestos a muchos ciclos de congelación y descongelación [6]. Las causas de estas fallas usualmente se dividen en dos categorías principales: propiedades de los selladores y factores de instalación [7-8]. Las propiedades de los selladores son factores intrínsecos relacionados con su composición química y su comportamiento reológico: como adhesión, envejecimiento, viscosidad, viscoelasticidad y fuerza de cohesión. Los factores de instalación son un criterio extrínseco relacionado con la aplicación del sellador; tales como la limpieza y preparación de la grieta, las condiciones del tiempo y el tipo de la junta. En una falla de adhesión, lo más importante es la interacción entre la superficie de la grieta y el sellador. Tanto, las propiedades de los selladores y los factores de instalación, contribuyen significativamente a los mecanismos de fallas. Las fallas de cohesión son propias del material. Cuando el esfuerzo de tensión del sellador excede su fuerza de cohesión, este se agrietará en la parte media del sellador [7]. Para impedir esta clase de fallas y lograr un comportamiento de larga duración, es muy importante identificar correctamente las propiedades a baja temperatura de los diferentes selladores de grietas de asfalto.

Sin embargo, las especificaciones actuales de selladores para grietas en la norma ASTM D6690 [9] y los métodos de ensayos delineados en la norma ASTM D5329 [10] no proveen una forma eficiente de relacionar el comportamiento en el campo, con las propiedades físicas [7,8]. La especificación del ensayo de adherencia tiene solamente un grado, pasa o falla, lo cual no clasifica el comportamiento de los selladores de grietas de una manera clara. Además, las especificaciones están enfocadas en condiciones de clima moderado sin tener en cuenta las

condiciones de climas fríos [6]. Existe la necesidad de desarrollar un criterio de pruebas basado en el desempeño que mida la respuesta del sellador al esfuerzo causado por las bajas temperaturas. La penetración y la viscosidad han sido usadas como una guía para seleccionar los selladores a baja temperatura, sin embargo, tales propiedades no relacionan consistentemente el comportamiento a baja temperatura [2,7]. Masson y otros colegas han identificado que las propiedades físico químicas del sellador de asfalto pueden ser usadas para relacionar su desempeño en el campo. Más aún, ellos han recomendado utilizar las propiedades reológicas de los selladores como una base para desarrollar una especificación basada en el desempeño del sellador [11,13].

La especificación SuperpaveTM desarrollada por el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (Strategic Highway Research Program, SHRP por sus siglas en inglés), ha relacionado exitosamente las propiedades reológicas de los ligantes de asfalto con su desempeño en el campo [14]. Los fabricantes de selladores de grietas han usado el sistema de clasificación PG para diferenciar los límites de desempeño para los diferentes selladores de asfalto aplicados en caliente. Algunos investigadores han intentado usar los equipos Superpave, como el Bending Beam Rheometer, para estudiar las propiedades a baja temperatura de los selladores de grietas de asfalto [8]. El Medidor de Tensión Directa (DTT, por sus siglas en inglés) es un equipo Superpave diseñado para estudiar las propiedades de las fallas a baja temperatura de los ligantes asfálticos [15]. Esta prueba consiste en alargar las muestras del ligante de asfalto y estudiar su mecanismo de falla. Estas propiedades pueden ser utilizadas como un criterio para seleccionar un sellador de grietas de asfalto basado en su respuesta mecánica a bajas temperaturas. El otro método de prueba a bajas temperaturas que ha sido utilizado para evaluar las propiedades de falla de los selladores de grietas de asfalto es la de Tensión Térmica de Retención de Muestra (TSRST, por sus siglas en inglés) [16,17]. Este método evalúa la susceptibilidad al agrietamiento a baja temperatura de las mezclas de asfalto para pavimentos. Los extremos de las muestras están fijos, y a medida que la temperatura baja, el esfuerzo de tensión térmico aumenta hasta que la muestra se fractura. Siguiendo el mismo mecanismo TSRST, el DTT puede ser usado para observar el esfuerzo de tensión inducida térmicamente, la cual incrementa en el sellador asfáltico a medida que la temperatura baja. Este esfuerzo de tensión puede ser usado como un parámetro de desempeño de los selladores.

En este estudio, el DTT se ha utilizado para estudiar el crecimiento del esfuerzo inducido térmicamente de los diferentes selladores asfálticos cuando la temperatura disminuye desde 5°C a -30°C. Ambos selladores de grietas de asfalto, los aplicados en frío y caliente, se han incluidos en este estudio. De la misma forma que en el ensayo TSRST [16], con los extremos de las muestra fijos, el esfuerzo de tensión debido a la contracción térmica de los distintos selladores de asfalto se grafica con relación a la temperatura. Los resultados indican que la tensión térmica puede ser usada para diferenciar la capacidad de adherencia de los diferentes selladores asfáltico. También se midió el esfuerzo de tensión y a la deformación a -29°C de los diferentes selladores de grietas de asfalto. Estas propiedades están relacionadas con los resultados de las pruebas de adherencia usadas para clasificar el desempeño de los diferentes selladores. La comparación muestra que el DTT puede ser usado para clasificar un sellador de grietas de asfalto basado en su desempeño a baja temperatura.

2.0 Diseño experimental

2.1 Materiales

2.1.1 Asfaltos

Para evaluar el efecto de la dureza en las propiedades a baja temperatura, fueron seleccionados varios asfaltos con diferentes rangos de penetración: 200/300, 120/150, 80/100, 40/60 y 10/30. Los valores de penetración para estos asfaltos están listados en la Tabla 1.

Tabla 1: Valores de penetración de diferentes asfaltos

Grado de penetración	10/30	40/60	80/100	120/150	200/300
Penetración @ 25°C(dmm)	25	44	90	122	265

Para evaluar el efecto de los polímeros, el asfalto de grado de penetración 80/100 fue seleccionado como base y modificado con estireno-butadieno-estireno copolímero radial (SBS por sus siglas en inglés). Los porcentajes del contenido de polímero son uno, dos y cuatro por ciento.

2.1.2 Selladores asfálticos para grietas

Ambos selladores, los aplicados en frío y en caliente, fueron seleccionados en este estudio (Tabla 2).

Tabla 2: Propiedades de los selladores de asfalto

Sellador	Penetración @ 25°C(dmm)	Prueba de adherencia	Pasa/Falla
SH1	66	-29C 50% Extensión	Pasa
SH2	127	-29C 200% Extensión	Pass
SH3	40	-29C 50% Extensión	Pasa
SH4	79	-29C 200% Extensión	Pasa
SH5	29	-18C 50% Extensión	Pasa
SH6	19	-18C 50% Extensión	Falla
SC1	55	No hay datos	No hay datos
SC2	86	No hay datos	No hay datos

Los selladores SH1 y SH3 están en conformidad con los requisitos de la norma ASTM D6690 Tipo II. El sellador SH2 es de módulo bajo y de baja resiliencia que se usa en varias aplicaciones de bajas temperaturas. El sellador SH4 cumple las especificaciones de la norma ASTM D6690 Tipo III. El sellador SH5 concuerda con las especificaciones de la norma ASTM D6690 Tipo I, mientras que el sellador SH6 falla la prueba de adherencia. Ambos selladores, SH5 y SH6, son de alta viscosidad y fueron diseñados para climas moderados a calientes. Los selladores SC1 y SC2 fueron selladores experimentales de aplicación en frío, diseñados para climas fríos a moderados.

2.2 Experimento

2.2.1 Preparación de la muestra

Los selladores asfálticos de aplicación en caliente, fueron calentados en un horno a la temperatura recomendada por el fabricante para derretirlos y verterlos. Las muestras fueron

vertidas en moldes precalentados DTT y enfriadas a la temperatura ambiente por 24 ± 4 horas para condicionamiento. Las muestras de asfalto también fueron condicionadas por 24 ± 4 horas antes de las pruebas.

Para los selladores de aplicación en frío, las muestras fueron vertidas en los moldes a la temperatura ambiente y curadas por 24 ± 4 horas. Después, las muestras se curaron en un horno a 60°C por 12 ± 2 horas. Finalmente las muestras se enfriaron a la temperatura ambiente por 2 horas antes del ensayo.

2.2.2 Ensayo DTT (Simulación de la prueba TSRST)

La temperatura del DTT fue puesta a 5°C . La muestra fue condicionada en el baño del DTT por 60 ± 10 minutos. En seguida la muestra fue montada en los soportes de carga en el chasis de carga. Una carga de $1 \pm 0.2\text{N}$ fue precargada sobre la muestra. El baño del DTT se ajustó para que se enfriara de 5°C a -30°C . La gradiente de temperatura fue de 0.42°C por minuto. La carga fue puesta a cero. El mecanismo de estiramiento del DTT no se activó durante el periodo de enfriamiento. Durante el proceso de enfriamiento, la temperatura del baño y la lectura del esfuerzo, se anotaron cada dos minutos.

2.2.3 Pruebas (Falla de tensión y deformación)

Las pruebas de fallas por tensión y deformación de las muestras fueron hechas a -29°C después de 60 ± 10 minutos de condicionamiento. El valor del máximo esfuerzo fue anotado para las muestras que no se fracturaron.

3.0 Resultados y discusión

3.1 Efecto de la dureza del asfalto (penetración)

En la medida que la temperatura baja de 5°C a -30°C , los asfaltos con diferentes rangos de penetración muestran un diferente crecimiento de la tensión térmica (Figura 1). A la misma temperatura, los asfaltos más duros y de baja penetración, tienen un valor de tensión térmica

más alto, comparados con los de alta penetración o asfaltos más blandos. A -30°C , el 10/30 tiene un valor de tensión térmica de 1 MPa, mientras que el de 200/300 tiene una tensión menor de 0.2 MPa. La rapidez de cambio del incremento de la tensión térmica aumenta en la medida que el rango de penetración disminuye. Los valores de falla por tensión y deformación para estos asfaltos a -29°C están listados en la Tabla 3. Aunque la falla por tensión de estos asfaltos no muestran una diferencia significativa, la falla por tensión aumenta en la medida que el asfalto es menos resistente. La falla por deformación es menos de un 1% para todos estos asfaltos, lo cual demuestra que estos asfaltos son frágiles a temperaturas extremadamente bajas. Para incrementar la elasticidad a baja temperatura, se necesita modificarlos con polímeros.

Para obtener una medición relativa de la resistencia de los asfaltos a la falla de tensión inducida por baja temperatura, se introduce el índice de tensión térmica (I_T):

$$I_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_F} \times 100 \quad (1)$$

Donde: σ_T , es la tensión térmica medida a -29°C

σ_F , es la falla por tensión medida a -29°C

I_T es una constante positiva con un valor de 0 a 100. Un valor más alto de I_T significa que el material tiene mayor probabilidad de fracturarse a baja temperatura. De acuerdo con las cifras de la Tabla 3, en la medida que la penetración del asfalto aumenta, I_T disminuye. El asfalto 200/300 tiene el valor I_T más bajo, lo que significa que este asfalto a bajas temperaturas es más resistente a la fractura térmica, en comparación a los otros asfaltos.

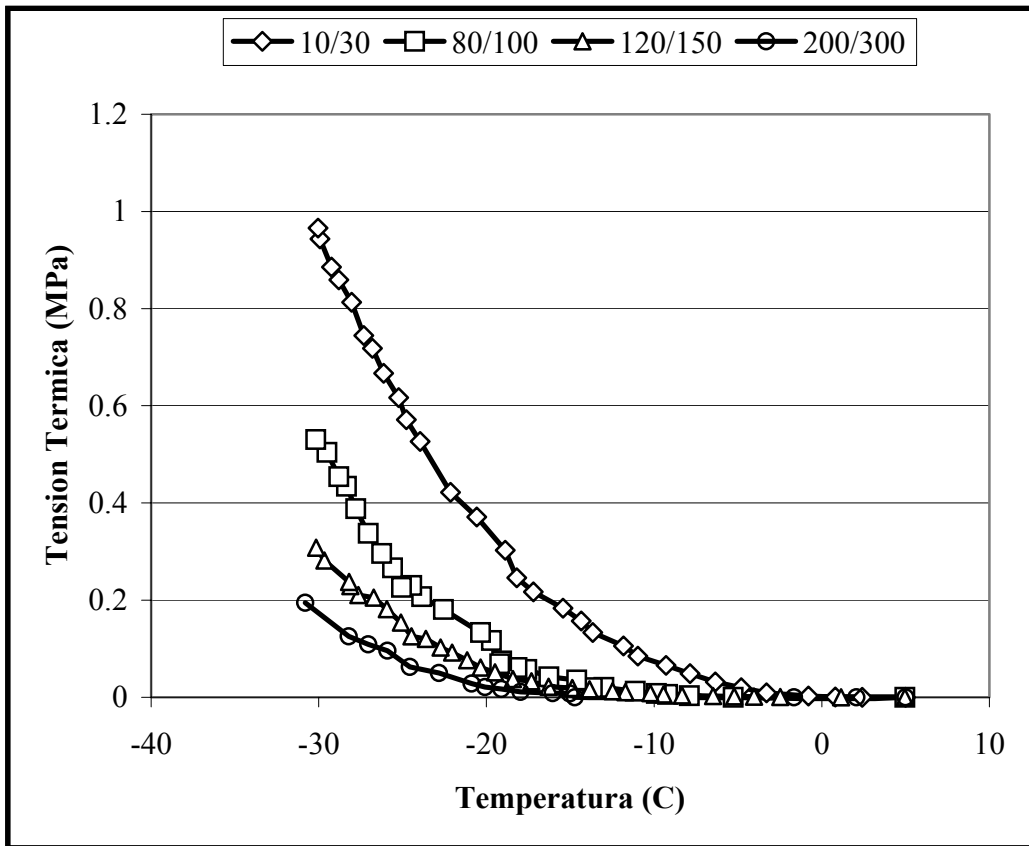


Figura 1: Tensión térmica vs. temperatura (asfaltos con diferentes niveles de penetración)

Tabla 3: Tensiones de asfaltos con diferentes niveles de penetración

Propiedades	asfalto>>>>	200/300	120/150	80/100	10/30
Tensión térmica (MPa)		0.15	0.25	0.47	0.87
Falla por tensión (MPa)		2.44	2.24	2.99	1.62
Falla por deformación (%)		0.388	0.232	0.213	0.144
Índice de tensión térmica (I_T)		6.1	11.2	15.7	53.7

3.2 Efecto de la modificación con polímeros

El efecto de la modificación del asfalto con polímeros en las tensiones térmicas se muestra en la Figura 2 y en la Tabla 4. La adición de polímero disminuye la tensión térmica a -30°C y retarda la velocidad de acumulación de la tensión térmica. La penetración de la mezcla

disminuye, mientras las fallas por tensión y deformación aumentan, en la medida que el contenido de polímero aumenta. El índice de tensión térmica disminuye con la adición del polímero. La adición de polímero al asfalto aumenta su elasticidad y provee un módulo mayor, mientras mejora la relajación de su tensión. El asfalto modificado con polímeros es más flexible a baja temperatura, en comparación con el asfalto no modificado. Los datos de la penetración del asfalto modificado con polímeros pueden mal interpretarse cuando se usan para relacionarlo con su desempeño a bajas temperaturas.

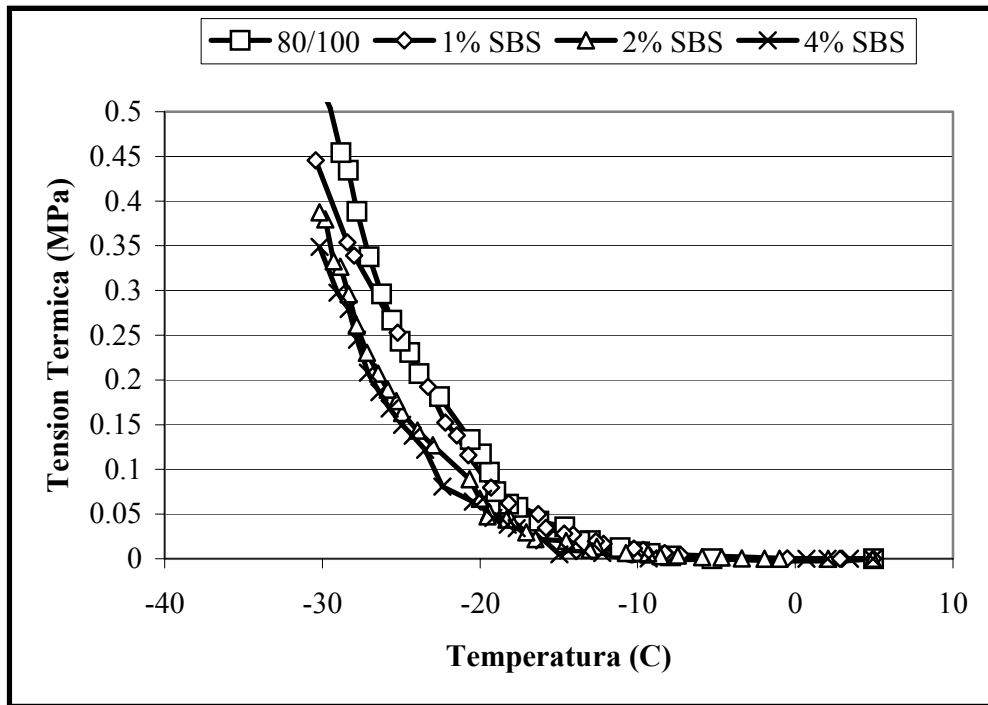


Figura 2: Tensión térmica vs. temperatura (80/100 con diferente contenido de polímero)

Tabla 4: Tensiones de asfaltos con diferente contenido de polímero

Propiedades/ asfalto>>>>	80/100	1% SBS	2% SBS	4% SBS
Penetración @ 25°C (dmm)	90	83	76	62
Tensión térmica (MPa)	0.47	0.40	0.33	0.29
Falla por tensión (MPa)	2.99	3.82	4.43	6.63
Falla por deformación (%)	0.213	0.391	0.626	1.101
Índice de tensión térmica (I_T)	15.7	10.5	7.4	4.4

3.3 Evaluación de diferentes selladores de asfálticos aplicados en caliente

La Figura 3 y 4 muestra la acumulación de tensión térmica para los diferentes selladores de asfaltos aplicados en caliente. Los selladores de baja temperatura tienen una tensión térmica mucho menor que los selladores de alta temperatura. El SH6, que falló la prueba de adherencia a -18°C , tiene el índice más alto de tensión térmica ($I_T = 25.3$ a -29°C). El SH5, con un índice de tensión térmica de 12.5 a -29°C , pasa la prueba de adherencia a -18°C . SH1, SH2, SH3, y SH4, pasan la prueba de adherencia a -29°C y tienen un índice de tensión térmica

de 1.9, 0.4, 3.4 y 1.7, respectivamente. Los SH1 y SH3 tienen relativamente un índice de tensión térmica más altos comparados con el SH2 y el SH4. El SH2 de bajo modulo tiene el índice mas bajo de todos, indicando menor acumulación de tensión térmica durante el proceso de enfriamiento. Los selladores asfálticos, SH1 y SH3, ambos pasan la prueba de adherencia a -29°C con una extensión del 50%. Mientras SH2 y SH4, ambos con una extensión del 200%, también pasan la prueba de adherencia (tabla 2). Por lo tanto, queda claro que la prueba de adherencia no distingue el desempeño real de estos selladores asfálticos. Contrastando los resultados del ensayo del DTT y usando el índice de tensión térmica se pueden diferenciar estos selladores en su desempeño de baja temperatura, no obstante que todos los selladores pasaron la prueba de adherencia con la excepción del SH6.

Los selladores de asfaltos SH1 y SH5 no se fracturan durante la prueba de falla tensión/deformación (Tabla 5). El SH6 se quiebra a un nivel de baja deformación comparado con el SH1 y el SH3. El SH5 y el SH6 tienen niveles de I_T más altos que otros selladores de asfalto de baja temperatura. Las diferencias del I_T entre SH2 y SH4, y entre SH1 y SH3 pueden ser utilizadas para clasificar el comportamiento relativo del mismo tipo de selladores. Se necesita más investigación y evaluación de campo para relacionar el índice de tensión térmica con el desempeño de los selladores de asfalto.

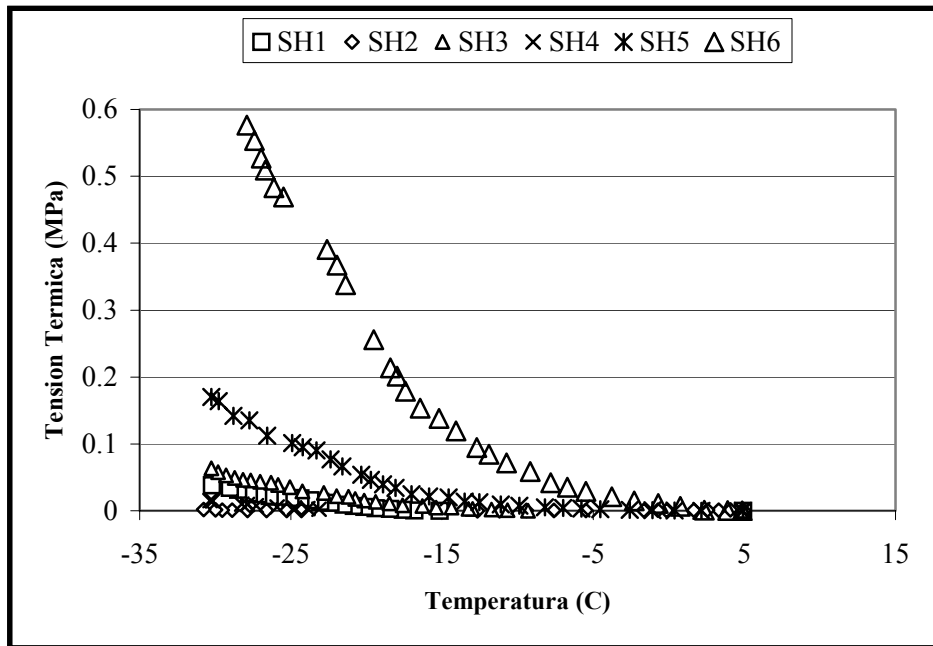


Figura 3: Tensión térmica vs. temperatura (Selladores de asfalto aplicados en caliente)

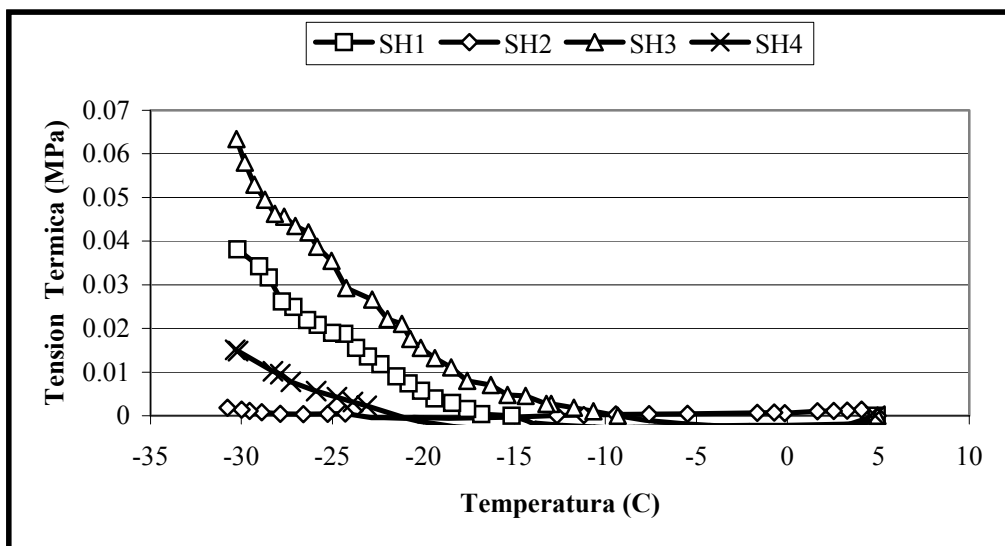


Figura 4: Tensión térmica vs. temperatura (Selladores de asfalto aplicados en caliente)

Tabla 5: Tensiones de selladores de asfalto aplicados en caliente

Propiedades/ selladores>>	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6
Tensión térmica (MPa)	0.035	0.0009	0.0505	0.012	0.15	0.6
Tensión de falla máxima (MPa)	1.86	0.225	1.48	0.69	1.2	2.37
Falla por deformación (%)	No se fractura	No se fractura	No se fractura	No se fractura	No se fractura	0.384
Índice de tensión térmica (I_T)	1.9	0.4	3.4	1.7	12.5	25.3

3.4 Evaluación de los diferentes selladores de asfalto aplicados en frío

La acumulación de la tensión térmica y el índice de tensión pueden también ser utilizados para diferenciar el desempeño de los selladores de asfalto aplicados en frío (Figura 5 y Tabla 6). Ambos, SC1 y SC2, han sido diseñados para climas similares, pero ellos muestran diferencias significantes en sus tensiones térmicas. El SC2 es mucho más estable en climas con temperaturas bajas.

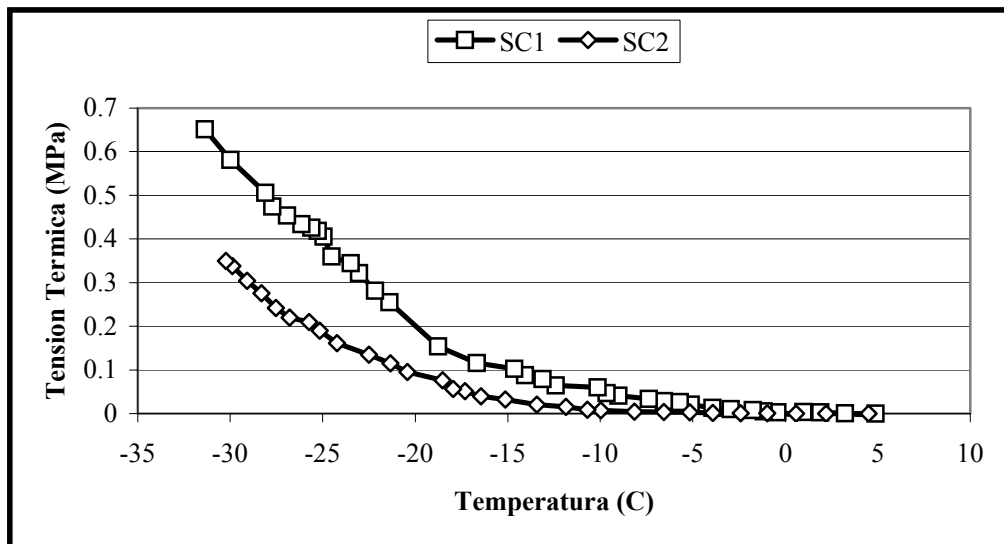


Figura 5: Tensión térmica vs. temperatura (selladores de asfaltos aplicados en frío)

Tabla 6: Tensiones de selladores de asfaltos aplicados en frío

Propiedades/ selladores>>	SC1	SC2
Tensión térmica (MPa)	0.54	0.30
Tensión de falla (MPa)	1.47	5.34
Tensión de deformación (%)	0.148	1.86
Índice de tensión térmica (I_T)	36.7	5.6

4.0 Conclusiones

- 1) El DTT puede ser utilizado para medir y clasificar el desempeño de los selladores de asfalto a baja temperatura.
- 2) Los valores del índice de tensión térmica I_T y la tensión inducida por temperatura pueden ser usados para diferenciar el mismo tipo de selladores de asfalto (aplicados en caliente o en frío).
- 3) Los asfaltos con alta penetración tienen una tensión térmica inducida por temperatura más baja y son más resistentes a fracturarse que los asfaltos de baja penetración.
- 4) La modificación del asfalto con polímeros mejora la elasticidad de los selladores y provee durabilidad a bajas temperaturas.
- 5) La propiedad de penetración puede reflejar incorrectamente el desempeño a baja temperatura de los asfaltos modificados con polímeros.
- 6) Los selladores de asfalto para grietas con buen desempeño a baja temperatura tienen índices bajos de tensión térmica inducida por temperatura y acumulación baja de tensión térmica I_T .

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Sra. Dora Salomón y al Ing. Humberto Zarate por sus comentarios editoriales y traducción del inglés al español de este documento.

Bibliografia

1. Chong GJ, "Rout and Seal Cracks in Flexible Pavement – A Cost-effective Preventive Maintenance Procedure", *Transportation Research Record*, 1268, 8-16, (1990)
2. Masson JF, "Sealing Cracks in Asphalt Concrete Pavements", *Construction Technology Update*, 49, 4-7, June 01, (2001)
3. Smith KL, and Romine AR, "Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements", Publication FHWA-RD-99-147, Federal Highway Administration, McLean, Virginia, (1999)
4. Rajagopal A, Minkarah IA, Green R, and Morse AA, "Effectiveness of Crack Sealing on Pavement Serviceability & Life", Report FHWA/OH-2003-009, Ohio Department of Transportation, (2003)
5. Yildirim Y, Qatan A, and Kennedy WT, "Performance Evaluation of Hot- and Cold-pour Crack Sealing Treatments on Asphalt Surfaced Pavements", Report FHWA/TX-03-4061-2, Texas Department of Transportation, (2002)
6. Masson JF, Collins P, and Légaré PP, "Performance of Pavement Crack Sealants in Cold Urban Conditions," *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26, (4), 395-401, August 01, (1999)
7. Masson JF, "Bituminous Sealants for Pavement Joints and Cracks: Building the Basis for a Performance-Based Specification"
8. Al-Qidi IL, Loulizi A, Aref S, Masson JF, and McGhee KM, "Modification of Bending Beam Rheometer Specimen for Low Temperature Evaluation of Bituminous Crack Sealants", *Transportation Research Board 84th Annual Meeting*, Washington D.C., (2005)
9. "Standard Specification for Joint and Crack Sealants, Hot Applied, for Concrete and Asphalt Pavements", American Society for Testing and Materials, ASTM D6690, *Annual Book for ASTM Standards*, Vol. 04.03 (2005)
10. "Standard Test Methods for Sealants and Fillers, Hot-Applied, for Joints and Cracks in Asphaltic and Portland Cement Concrete Pavements", American Society for Testing and Materials, ASTM D5329, *Annual Book for ASTM Standards*, Vol. 04.03 (2005)
11. Masson JF, Collins P, Margeson, JC and Polomark, GM, "Analysis of Bituminous Crack Sealants by Physico-chemical Methods and its Relationship to Field Performance", *Transportation Research Record*, 1795, 33-39, (2001)

12. Lacasse MA and Masson JF, "Developing a Performance-based Joint Sealant Specification for Airport PCC Pavements", *Durability of Building and Construction Sealants and Adhesives*, ASTM STP-1453, 346-354, (2004)
13. Masson JF, Collins P, Bundalo-Perc S, Woods JR and Al-Qadi I, "Variations in the Composition and Rheology of Bituminous Crack Sealants for Pavement Maintenance", *Transportation Research Board*, 84th Annual Meeting, Washington, D.C., (2005)
14. Anderson DA, Christensen DW, Bahia HU, Dongre R, Sharma MG, Antle CE and Button J, "Binder Characterization and Evaluation. Volume 3: Physical Characterization", Report SHRP-A-369, Federal Highway Administration, (1994)
15. Dongre R, Sharma MG and Anderson DA, "Characterization of Failure Properties of Asphalt Binders", *Physical Properties of Asphalt Cement Binders*, ASTM STP-1241, 117-136, (1995)
16. Carter S, Ksaibati K and Huntington G, "Field and Laboratory Evaluations of Hot-poured Thermoelastic Bituminous Crack Sealing of Asphalt Pavements", *Transportation Research Board*, 84th Annual Meeting, Washington, D.C., (2005)
17. "Standard Test Method for Thermal Stress Restrained Specimen Tensile Strength", *American Association of State Highway and Transportation Officials*, AASHTO TP10, AASHTO Provisional Standards 2000 Edition (2000)