

CARACTERIZACIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS CON DIFERENTES ADITIVOS

*Fabián Elizondo Arrieta
Jorge Salazar Delgado
Ernesto Villegas Villegas*

Resumen

El uso de asfaltos modificados en la construcción de pavimentos flexibles se ha extendido a nivel mundial como respuesta a condiciones más severas durante su vida útil y buscando un mejor desempeño que permita prolongar su duración.

Los asfaltos modificados en Costa Rica son una alternativa reciente; actualmente no se cuenta con productores de asfaltos modificados, por lo que su fabricación se ha limitado a empresas productoras de MAC, las cuales modifican el asfalto en planta mediante sistemas básicos que no permiten la utilización de algunas presentaciones de aditivos y donde los controles de calidad se dificultan.

Esta investigación tiene como objetivo comparar diferentes tipos de aditivos para asfalto, dentro de los que se encuentran los actualmente utilizados en Costa Rica, caracterizados por tener una consistencia líquida y otros que por su consistencia sólida no pueden ser modificados en planta; la valoración de sus propiedades se hará mediante parámetros reológicos; por último, la investigación intenta dar herramientas para valorar la efectividad de estos tipos de aditivos en la mejoría de las propiedades del asfalto e implementar los ensayos reológicos como medio para especificar sus propiedades. Estos ensayos reológicos se encuentran especificados dentro del reporte de la NCHRP-459 y en las normas de ensayo de la AAHSTO para asfaltos modificados.

Palabras claves: asfaltos, asfaltos modificados, polímeros, pavimentos flexibles.

Abstract

The use of modified asphalt in the construction of flexible pavements has expanded globally in response to harsher conditions during its lifetime and for a better performance for prolonging its life.

The modified asphalt in Costa Rica is a recent alternative, currently there are no modified asphalt producers, so its manufacture has been framed to companies producing HMA, which modify the asphalt plant using basic systems, which do not allow presentations using certain additives, and where quality control is difficult.

This research aims to compare different types of additives for asphalt, within which are the currently used in Costa Rica characterized by having a liquid consistency and others characterized for a solid consistency that can not be use on hot mix asphalt plant and need a special procesing, the characterization of their properties is done by rheological parameters, and finally, the project intends to some tools for assessing the effectiveness of these types of additives in improving the properties of asphalt rheology and implement the rheological testsas means to specify their properties. These rheological tests are specified within the report of the NCHRP-459 and the standards methods for modified asphalt of AAHSTO Tests.

Keywords: asphalt, modified asphalt, polymers, flexible pavements.

Recibido: 23 de noviembre del 2009 • **Aprobado:** 12 de abril del 2010

1. INTRODUCCIÓN

El uso de modificantes de asfalto en Costa Rica se caracteriza por ser una alternativa reciente, no existen empresas formales en torno a la fabricación de asfaltos modificados por lo que las empresas

constructoras y la administración del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) se han visto en la necesidad de implementar procesos de modificación en planta de producción de MAC. Este tipo de modificaciones se caracteriza por el uso de aditivos de consistencia líquida, los cuales

son mezclados con el asfalto poco antes de ingresar al tambor mezclador de una planta continua de mezcla asfáltica en caliente (Salazar, 2008).

En cuanto a especificaciones a cumplir por parte de los asfaltos modificados con polímeros, el desarrollo se pondría dividir en tres etapas: *la primera* se caracteriza por ser muy básica; al tratarse de la implementación de una nueva tecnología se enfocó en proyectos de prueba con el fin de calibrar el proceso productivo y constructivo, y realizar comparación entre los valores de ensayos típicos obtenidos de mezclas convencionales y las nuevas mezclas modificadas; *la segunda* se basa en la especificación de porcentajes de mejora en las propiedades de mezclas modificadas respecto a estas mismas mezclas con asfaltos sin modificar, los ensayos típicamente especificados fueron el de Módulo resiliente a tensión diametral (MRTD) y el de Deformación permanente en pista de ensayo (APA); *la tercera* etapa en la que nos encontramos, se basa en la especificación de valores mínimos a cumplir por la mezcla asfáltica en ensayos de desempeño, específicamente MRTD, APA, resistencia retenida a la tensión diametral y fatiga en vigas a flexotracción, además de especificar para el asfalto modificado valores mínimos de grado de desempeño (PG).

Pese a que el proceso que se ha llevado ha seguido un orden racional, se cree que se podrían mejorar las especificaciones incorporando nuevos ensayos al asfalto modificado que permitan valorar la efectividad de un polímero en la mejoría de su desempeño. Actualmente solo se especifica el PG como ensayo al asfalto modificado, sin embargo, es reconocido que este ensayo no siempre logra discriminar entre asfaltos modificados con comportamientos diferentes. Por otra parte, los ensayos especificados a la mezcla asfáltica dependen no solo de las propiedades del asfalto por lo que podrían no ser tan evidentes las ventajas entre uno u otro polímero (Hitti, 2009; BASF, 2009).

El objetivo general de la investigación fue evaluar el uso de ensayos para caracterización de asfaltos modificados como herramienta para discriminar entre asfaltos con propiedades y comportamientos diferentes, al mismo tiempo que se analizan especificaciones existentes y su posible implementación en Costa Rica.

2. CONCEPTOS GENERALES Y ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Asfaltos modificados con polímeros

Podemos definir un *polímero* como un compuesto de alto peso molecular formado por la unión de moléculas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples), los cuales al unirse forman moléculas más grandes en distintos arreglos. Por su parte, los *asfaltos modificados con polímeros* son asfaltos a los cuales se les ha adicionado algún polímero con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas (Salazar, 2008).

La modificación de asfaltos con polímeros busca mejorar sus propiedades viscoelásticas para cumplir con los requerimientos de un proyecto; de manera muy concisa se puede decir que mediante la modificación se desea mejorar la elasticidad y la flexibilidad, la consistencia y la durabilidad con el fin de evitar que una mezcla asfáltica se fisure, se deforme o que existan desprendimientos. Es por lo anterior que al analizar un asfalto modificado interesa valorar el potencial que tiene para recuperarse elásticamente y en condiciones de envejecimiento; con este enfoque se valoraría su capacidad de absorber esfuerzos sin presentar fisuras o deformarse elásticamente para evitar deformaciones plásticas, lo anterior luego de un proceso de envejecimiento relacionado con la durabilidad.

2.2. Ensayos para la caracterización de asfaltos modificados

2.2.1. *Multiple Stress Creep Recovery* (MSCR) o recuperación elástica a diferentes esfuerzos

Este ensayo se encuentra especificado bajo la norma AASHTO TP70-07 y consiste en la medición de las propiedades viscoelásticas (mediante el *creep compliance*) de un asfalto envejecido en un horno RTFO, al aplicarle un esfuerzo de 100 Pa y 3200 Pa. El ensayo mide la

respuesta elástica en un ligante asfáltico sometido a un esfuerzo cortante y recuperación (Moonney, 2008; AASHTO, 2008).

El *creep compliance* no recuperable es una medición de la deformación permanente y se define como el porcentaje de deformación unitaria residual (% ϵ) de un espécimen luego de ser sometido a un ciclo de carga y recuperación dividido por el esfuerzo aplicado. Las especificaciones para este ensayo se presentan en el Cuadro 1.

Parámetros del ensayo:

- Asfalto envejecido en el RTFO
- Equipo reómetro dinámico de cortante DSR, plato de 25 mm, 1 mm de espesor.
- Niveles de esfuerzo, 100 Pa y 3200 Pa
- Esfuerzo aplicado por 1 s, recuperación de 9 s
- Diez ciclos para cada nivel de esfuerzos
- Temperatura de servicio

Parámetros reportados:

- Promedio del porcentaje de recuperación a los 100 Pa y 3200 Pa
- Diferencia porcentual entre la recuperación a los 100 Pa y los 3200 Pa
- El *creep compliance* (J_{NR}) a los 100 Pa y 3200 Pa
- Diferencia porcentual entre el J_{NR} a 100 Pa y 3200 Pa

2.2.2. *Repeated Creep* (CR) o recuperación elástica mediante esfuerzo repetido

Este ensayo se encuentra especificado bajo el reporte NCHRP 459 Apéndice 4 y fue diseñado

para determinar la resistencia a la deformación permanente ante cargas repetidas simulando el tránsito. El ensayo utiliza el Reómetro Dinámico de Cortante (DSR) para llevar a cabo el ensayo de esfuerzo cortante repetido bajo condiciones de temperatura y carga típicas del pavimento en el campo. Este método permite determinar la componente viscosa de la rigidez. La deformación permanente de un pavimento es producto de la acumulación de deformación no recuperable, ante la aplicación de cargas repetidas de tráfico y la contribución del asfalto puede ser evaluado mediante la aplicación de cargas repetidas. Por medio de la selección de los periodos de carga y descarga se pueden modelar efectivamente las velocidades del tráfico y las diferentes condiciones de cargas de tránsito mediante los rangos de esfuerzos aplicados. La componente viscosa de la rigidez es un indicador de la resistencia que tiene un asfalto a deformarse permanentemente y puede ser utilizada para comparar, evaluar y seleccionar asfaltos (NCHRP, 200; AASHTO, 2006).

Parámetros del ensayo:

- Asfalto sin envejecer
- Equipo reómetro dinámico de cortante DSR, plato de 25 mm, 1 mm de espesor
- Niveles de esfuerzo entre 25 Pa y 300 Pa
- Esfuerzo aplicado por 1 s, recuperación de 9 s
- Cien ciclos de carga
- Temperatura de servicio

Parámetros reportados:

- Porcentaje de deformación unitaria residual (% ϵ)

Cuadro 1. Especificaciones para el ensayo de MSCR.

Condición	$(J_{NR@3.2kPa})$	$(J_{NR@3.2kPa} - J_{NR@0.1kPa})$
		$J_{NR@0.1kPa}$
Tránsito estándar (<10 mill ESALs)	< 4	< 0,75
Tránsito alto (10 a 30 mill ESALs)	< 2	< 0,75
Tránsito muy alto (> 30 mill ESALs)	< 1	< 0,75

Fuente: (Mooney, 2008).

Cuadro 2. Caracterización de asfaltos de acuerdo con parámetros reológicos.

			AC-30	SBR (A)	SBR (B)	SBR (C)	SBS (A)	SBS (B)
Viscosidad DSR a 60 °C (poise)			2854 ± 37	4312 ± 2	5698 ± 4	5542 ± 12	8054 ± 4	6069 ± 2
Creep								
Deformación a 250 ciclos (70 °C) (%)			26 312	15 777	11 147	8342	7167	4121
G*/sen δ ≥ 1 kPa (70 °C)			0,892 1	1,420 9	1,524 3	1,967 9	2,724 2	2,040 7
Clasificación	G*/sen δ ≥ 1 kPa		64 ↑	70 →	70 →	76 ↓	76 →	76 ↓
G**sen δ ≤ 5 MPa (22°C)			4,142 6	4,603 8		1,386	5,885 8	4,061 6
Clasificación	G**sen δ ≤ 5 MPa		22	22	-	-	25	22
Recuperación elástica (%)	Original	5 min	-	22,2 ± 0,6	48 ± 5	35 ± 2	33 ± 3	67,7 ± 0,6
		60 min	-	31,3 ± 0,8	73 ± 3	53 ± 3	46 ± 5	78,5 ± 0,5
	RTFO	5 min	-	25 ± 1	-	32,5 ± 0,1	26,7 ± 0,6	63,00 ± 0,01
		60 min	-	37,50 ± 0,01	-	48,3 ± 0,4	40,7 ± 0,6	76,50 ± 0,01
MSCR	$\frac{J_{NR3,2} - J_{NR0,1}}{J_{NR0,1}} < 0,75$		-	0,32	-	0,37	0,26	0,33
	Jnr. 3.2		-	3,896	-	3,284	1,575	0,510
	Clasificación		-	Estándar	-	Estándar	Alto	Muy alto
			-	Jnr3.2<4	-	J _{NR3,2} <4	J _{NR3,2} <2	J _{NR3,2} <1

Fuente: (Los autores, 2009).

2.2.3. Recuperación elástica (RE)

Este ensayo se encuentra especificado bajo la norma AASHTO T 301-99 y fue diseñado para determinar la recuperación elástica de un material asfáltico mediante el uso de un ductilímetro y especímenes en briquetas. El espécimen es

elongado a una velocidad de 5 cm/min y una temperatura en baño de 25 °C, luego se detiene a una separación específica de 20 cm. Hecho esto, el material es cortado en el centro del hilo y se le permite recuperarse por un periodo de una hora. El material debe cumplir con una recuperación mínima del 65 % (AASHTO, 2008).

2.3. Esquema de la investigación

Como se indicó en los apartados anteriores, el objetivo de este proyecto se enfoca en analizar diferentes tipos de aditivos, dentro de los que se encuentran tres polímeros SBR (Estireno-Butadieno-Caucho) y dos polímeros SBS (Estireno-Butadieno-Estireno); los primeros corresponden a polímeros de consistencia líquida, algunos utilizados actualmente en Costa Rica mediante un proceso de modificación en planta de producción de mezcla asfáltica en caliente, mientras que los SBS son sólidos y para los cuales se requeriría implementar en el país una nueva infraestructura capaz de producir asfaltos modificados con estas características. Cada uno de estos asfaltos fue dosificado a un 2,5 % en un agitador de bajo corte a una temperatura de 175 °C por 3 h hasta obtener total homogeneidad. Lo anterior queda verificado ya que se toman muestras durante la agitación observando la presencia o ausencia de grumos en la matriz asfáltica y luego caracterizado mediante parámetros convencionales y además evaluados con los ensayos propuestos (PG, MSCR, CR y RE) para asfaltos modificados con el fin de discriminar entre asfaltos con propiedades y comportamientos diferentes.

Como parte del estudio se evaluó el efecto de un condicionamiento del asfalto modificado (reposo a 160 °C, 24 h) simulando un periodo de almacenamiento en tanque luego de su modificación el cual es recomendado por los fabricantes como parte del proceso de modificación, y el caso contrario en el que el asfalto es utilizado inmediatamente después de ser modificado. Por otra parte, las muestras fueron ensayadas luego de diferentes periodos de reposo (temperatura ambiente) con el fin de evaluar si existía un efecto o reacción del polímero luego de ser fabricada la mezcla asfáltica. Para esta última etapa fueron analizados únicamente tres aditivos: SBR(A); SBR(C) y SBS(A).

En la primera etapa el asfalto se modificó y sus propiedades reológicas fueron determinadas de forma posterior, es decir, el asfalto fue calentado de nuevo para tomar submuestras y para ser analizado. Durante su enfriamiento y almacenamiento a temperatura ambiente no es posible determinar la contribución por envejecimiento estérico ya que los ensayos se verán afectados por este reacomodo

estructural, parte de esa condición se pierde durante el calentamiento y la etapa de condicionamiento del ensayo, pero se vuelve a reflejar cuando baja su temperatura. Esta situación no se da en la segunda etapa, donde se realiza el condicionamiento debido a que el asfalto es analizado inmediatamente después de terminar su reposo a 160 °C por 24 h.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. Etapa 1. Caracterización de los asfaltos modificados con polímeros de acuerdo con parámetros reológicos

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de los ensayos reológicos para el asfalto original y modificado con los cinco tipos de polímeros; el objetivo de esta etapa fue evaluar el efecto de los diferentes polímeros en las propiedades del asfalto, el análisis de estos resultados se presenta en la siguiente sección.

3.2. Etapa 2. Efecto del condicionamiento y tiempo de reposo en las propiedades de los asfaltos modificados

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de los ensayos reológicos para el asfalto original y modificados con los tres tipos de polímeros; el objetivo de esta etapa fue evaluar el efecto de un condicionamiento y tiempos de reposo del asfalto en donde pudieran existir posteriores reacciones y cambios en las propiedades de los asfaltos modificados, el análisis de estos resultados se presenta en la siguiente sección.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Etapa 1. Caracterización de los asfaltos modificados con polímeros de acuerdo con parámetros reológicos

Uno de los objetivos medulares de este proyecto consistió en valorar cuál de los polímeros

Cuadro 3. Efecto del condicionamiento y tiempo de reposo en las propiedades reológicas de los asfaltos.

	Edad de reposo	Condicionamiento	SBR (A)	SBR (C)	SBS (A)
G*/sen δ (76 °C)	0 h	-	1,167 6	1,081 9	1,209
	48 h	-	1,232 9	1,126 7	1,481
	96 h	-	1,075 5	1,268 4	1,400
	0 h	24 h a 160 °C	0,969 5	1,164 8	1,333
	48 h	24 h a 160 °C	1,138 5	1,241 6	1,340
Creep repetitivo (% deformación)	0 h	-	6 781	15 29 8	18 602
	48 h	-	5 448	15 38 4	16 341
	96 h	-	8 393	10 534	15 015
	0 h	24 h a 160 °C	21 960	9 768	17 005
	48 h	24 h a 160 °C	15 281	8 996	15 784
$\frac{J_{NR_{3,2}} - J_{NR_{0,1}}}{J_{NR_{0,1}}} < 0.75$	0 h	-	0,318 3	0,442 6	0,256 6
MSCR (RTFOT)	0 h	24 h a 160 °C	0,366 3	0,521 6	0,351 8
J_{NR3,2}	0 h	-	3,988	2,689	2,625
	0 h	24 h a 160 °C	2,794	1,797	2,244
Recuperación elástica (RTFO)	0 h (5 min)	-	-	37,0	35,0
	0 h (60 min)	-	-	62,5	46,0
	96 h (5 min)	-	-	40,0	30,0
	96 h (60 min)	-	-	64,5	45,0
	0 h (5 min)	24 h a 160 °C	37,5	50,0	45,0
	0 h (60 min)	24 h a 160 °C	50,0	72,5	55,5
	72 h (5 min)	24 h a 160 °C	26,5	51,0	44,0
	72 h (60 min)	24 h a 160 °C	41,5	73,0	56,5

Fuente: (Los autores, 2009).

analizados mejoraba en mayor medida las propiedades reológicas de los asfaltos a una misma tasa de dosificación, lo anterior se evaluó tomando en cuenta el “Grado de Desempeño” (PG) el cual no siempre logra discriminar entre asfaltos con comportamientos diferentes.

En este sentido se presentan en la Figura 1 los resultados del parámetro G*/senδ (PG) medido a 70 °C como parámetro correlacionado con la susceptibilidad del asfalto por deformarse, entendiendo que cuanto mayor sea su magnitud, menos susceptible es a la deformación. Por lo que se puede interpretar que el asfalto modificado con el SBS(A) es el que presenta mejores condiciones seguido por los polímeros SBS (B) y SBR(C). En general los polímeros SBS tienden a presentar un mejor desempeño que los polímeros SBR y como es de esperar,

el asfalto sin modificar (AC30) es el que presenta, de acuerdo con este parámetro, mayor susceptibilidad a deformarse.

Como parte de los ensayos propuestos como candidatos por utilizar para evaluar asfaltos modificados, en la Figura 2 se plantea el ensayo de esfuerzo repetido o “creep repetido”, este parámetro mide la deformación permanente acumulada, indicador también de la susceptibilidad de asfalto a deformarse o de recuperarse elásticamente luego de aplicar un esfuerzo, por lo tanto, cuanto mayor sea el valor numérico, menor es la resistencia a la deformación. Es importante apuntar que, pese a que los resultados presentan en su mayoría la misma tendencia que el G*/senδ (PG), es en este caso el SBS (B) quien obtiene la mejor “calificación” dentro de los polímeros analizados.

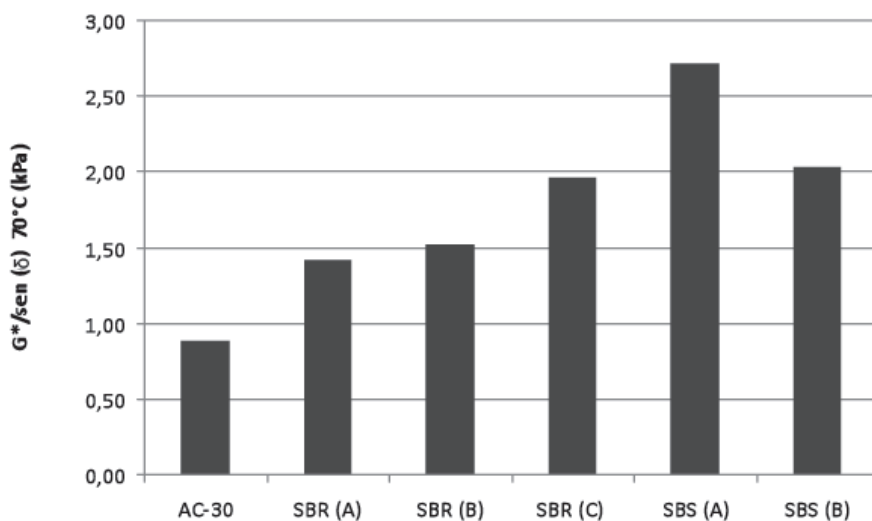


Figura 1. G*/senδ para cada polímero.

Fuente: (Los autores, 2009).

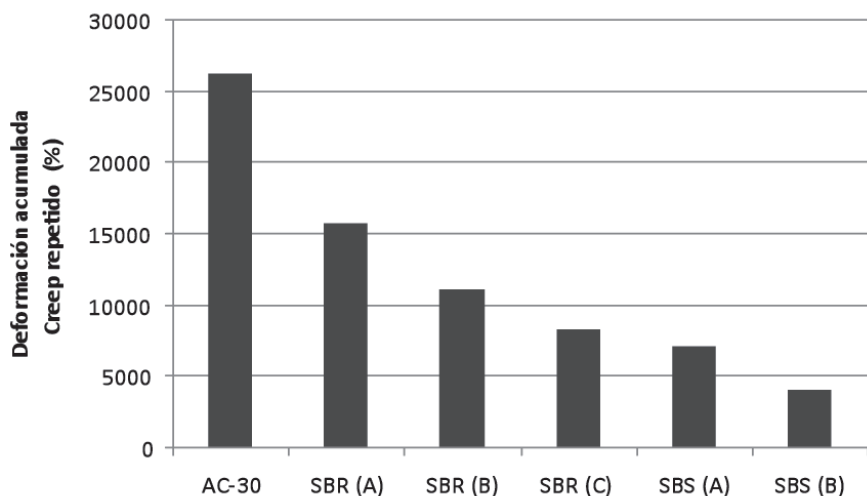


Figura 2. Deformación acumulada permanente.

Fuente: (Los autores, 2009).

Esta misma tendencia se presenta en la Figura 3 correspondiente al MSCR, ensayo que sigue el mismo principio que el *creep compliance*, la diferencia principal radica en la aplicación de varios esfuerzos de análisis; por otra parte, a nivel internacional este procedimiento es

reconocido como una evolución al *creep compliance* y cuenta con especificaciones para diferentes niveles de tránsito. Para este ensayo no fue posible evaluar el polímero SBR (B) ya que no se logró su envejecimiento en el horno RTFO.

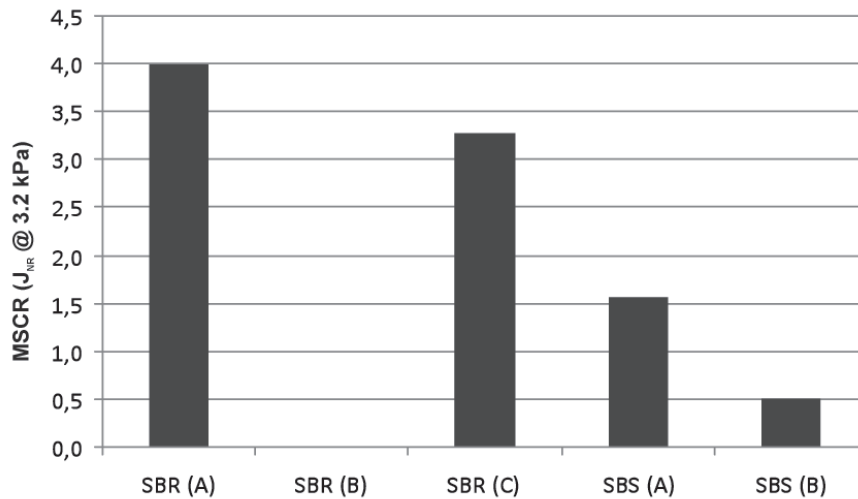


Figura 3. MSCR (J_{NR} @ 3.2 kPa).

Fuente: (Los autores, 2009).

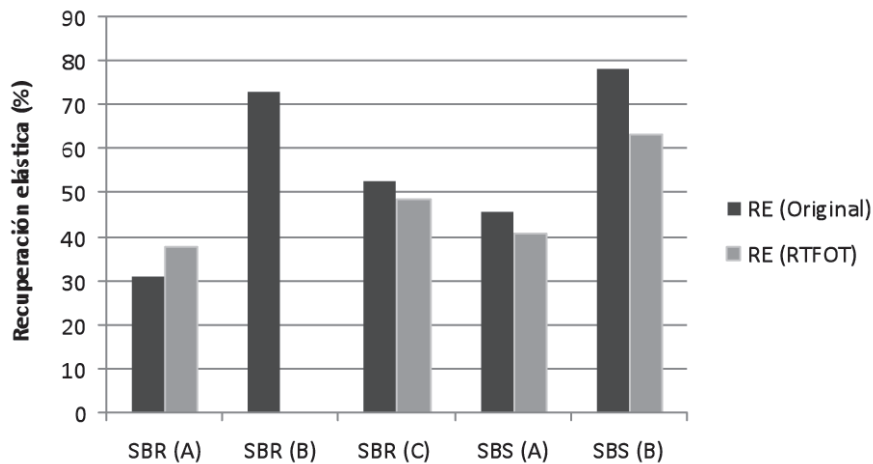


Figura 4. Recuperación elástica.

Fuente: (Los autores, 2009).

En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de recuperación elástica para las condiciones original y envejecida en el horno RTFO; en este caso el polímero SBS (B) fue el que obtuvo el mejor rendimiento, seguido por el SBR (B) sin embargo, durante su análisis se evidenció un efecto de separación de fases, de la cual se comentará más adelante, los polímeros SBR(C), SBS(A) y SBR(A) ocuparon los siguientes puestos en el orden dictado.

4.2. Etapa 2. Efecto del condicionamiento y tiempo de reposo en las propiedades de los asfaltos modificados

Dentro del esquema del proyecto se propuso analizar dos situaciones: la primera, el efecto de un condicionamiento al asfalto modificado (reposo a 24 h a 160 °C) y la segunda, de un tiempo de reposo luego de ser modificado el asfalto. El primero intenta simular la situación

en la cual el asfalto es modificado y almacenado antes de ser utilizado en la fabricación de una mezcla asfáltica, y el segundo intenta verificar si existe una variación en las propiedades del asfalto que pudieran ser producto de reacciones o enlaces posteriores a la fabricación de la mezcla asfáltica, dando al asfalto modificado un reposo a temperatura ambiente y un posterior análisis de

sus propiedades. Esta etapa en el estudio se incluye ya que en evaluaciones anteriores se comprobó una variación importante de las propiedades de asfaltos modificados, en las cuales las únicas variables no controladas fueron el tiempo de reposo y el tiempo de condicionamiento.

Antes de iniciar el análisis de esta etapa se debe tener presente que el asfalto modificado con

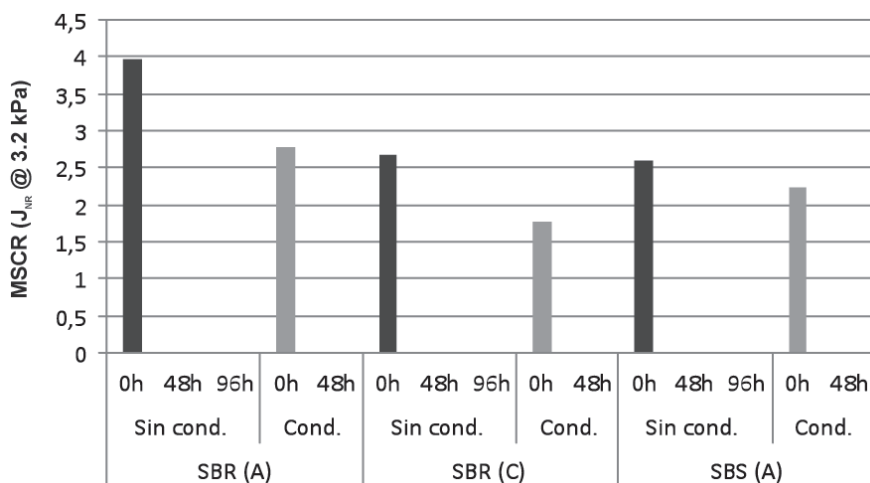


Figura 5. MSCR (J_{NR} @ 3.2KPa)

Fuente: (Los autores, 2009).

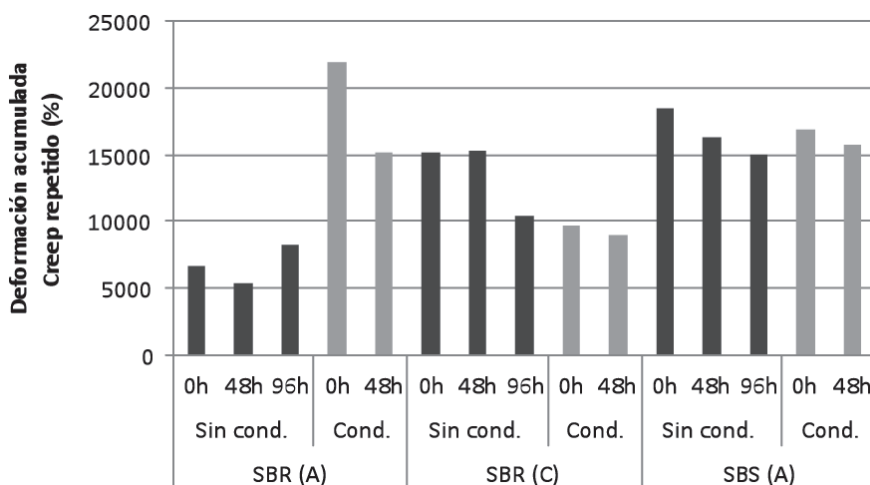


Figura 6. Deformación acumulada.

Fuente: (Los autores, 2009).

el polímero SBR(A) presentó una separación de fases luego del proceso de condicionamiento de 24 h a 160 °C y en algunos casos luego del periodo de reposo, con evidente apariencia gelatinosa en gran parte del volumen de asfalto que podría interpretarse como acumulación del polímero, el resto del asfalto presentaba una condición bastante fluida. Este mismo efecto fue evidente durante la primera etapa en el

asfalto modificado con el polímero SBR (B) el cual no fue evaluado en esta segunda etapa, sin embargo, esta condición podría estar asociada a algunos resultados obtenidos.

En las Figuras 5 a la 8 se presentan los resultados obtenidos por los tres polímeros estudiados en esta etapa a diferentes condicionamientos y tiempo de reposo. Analizando los resultados obtenidos para el MSCR Jnr 3.2 kPa se puede observar como

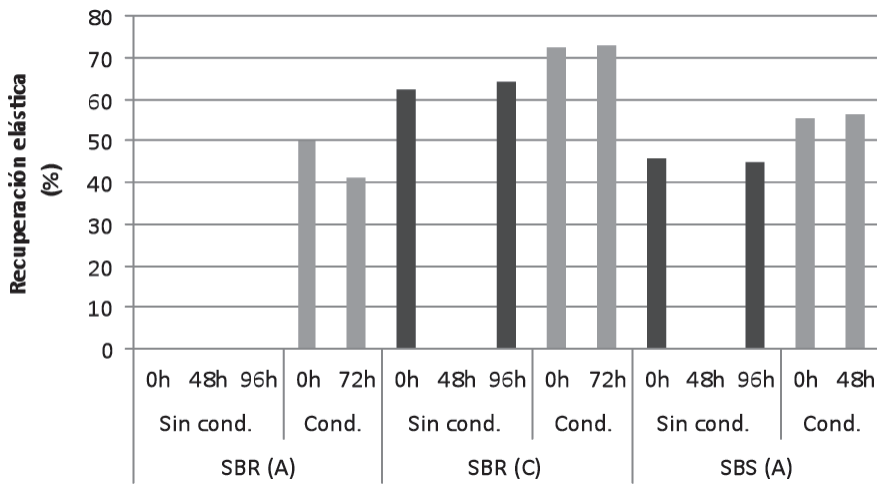


Figura 7. Recuperación elástica.

Fuente: (Los autores, 2009).

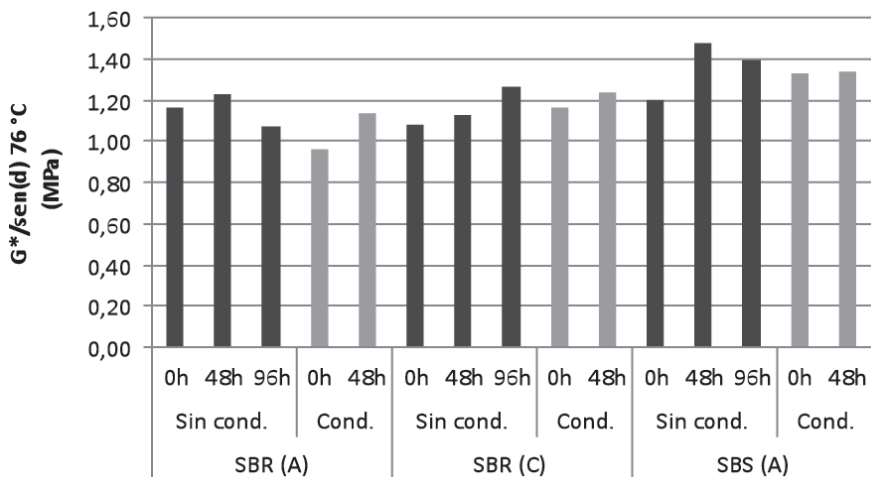


Figura 8. G*/senδ.

Fuente: (Los autores, 2009).

existe para todos los polímeros una evidente mejoría del desempeño del asfalto luego de ser sometido al condicionamiento (24 h a 160 °C), esto podría interpretarse indicando que durante este proceso se generan una serie de reacciones o enlaces de los polímeros dentro del asfalto que le hacen mejorar sus propiedades.

Este efecto es evidente también en el ensayo de *creep compliance* en donde se observa una mejoría de las propiedades del asfalto evidente en la reducción de la deformación permanente acumulada, se debe aclarar que el SBR(A) presentó un comportamiento aleatorio y contrario, sin embargo, este puede ser explicado por la separación de fases que se trató anteriormente.

Otro punto por destacar, evaluado para este ensayo, es el efecto del tiempo de reposo, en donde se puede observar como existe una mejoría a la deformación paulatina conforme se aumenta el tiempo luego de ser modificado el asfalto. Se debe notar que los resultados obtenidos para el asfalto condicionado son equivalentes a los resultados obtenidos luego de un periodo de reposo de 96 h.

Las observaciones realizadas para los ensayos anteriores son también aplicables para el ensayo de PG en donde se observa la mejoría producto del condicionamiento así como del tiempo de reposo, siendo equivalentes los resultados obtenidos luego del periodo de reposo de 96 h con los resultados para los polímeros condicionados, 24 h a 160°C. Los resultados del polímero SBR(A) siguen siendo aleatorios y contrarios a la tendencia.

Por último, en relación con el ensayo de recuperación elástica se puede observar que sí se presenta la mejoría producto del condicionamiento de la muestra, sin embargo, no es evidente la mejoría producto del tiempo de reposo.

COMENTARIOS FINALES

Los métodos propuestos para evaluar asfaltos modificados son un buen recurso o herramienta para discriminar entre asfaltos con propiedades y comportamientos diferentes y complementan la metodología de Grado de desempeño en la caracterización de asfaltos modificados.

Los ensayos de CR y MSCR presentaron una alta correlación; como se ha visto, el MSCR presenta

una clasificación de acuerdo con las condiciones de tránsito, la cual es una herramienta valiosa en la interpretación de resultados.

El ensayo de recuperación elástica es un ensayo recomendado para su implementación como ensayo complementario a los ensayos reológicos por presentar resultados coherentes con los obtenidos en los ensayos de CR y MSCR, los cuales requieren una gran inversión en equipo (reómetro dinámico de cortante DSR) en contraposición de los equipos utilizados para este ensayo que son de mucho menor costo y que se podrían catalogar como equipo convencional en un laboratorio de asfaltos (ductilímetro). Sin embargo, se debe tener presente que la información brindada por los ensayos reológicos es mucho más completa al simular las condiciones reales del asfalto.

Es evidente el efecto del condicionamiento y el tiempo de reposo en las propiedades y desempeño de los asfaltos modificados con polímeros, por lo tanto, se recomienda un estricto control de estas variables durante un análisis. Con base en los resultados obtenidos se recomienda evaluar los asfaltos modificados luego de un procedimiento de condicionamiento de 24 h a 160 °C.

Para aquellos polímeros en los cuales se presente una separación durante el periodo de curado se deberá replantear el proceso de análisis; se recomienda en estos casos que los ensayos sean realizados evitando el condicionamiento, analizando los asfaltos luego de un proceso de reposo de 96 h; en caso de que persista la separación, el ensayo deberá realizarse inmediatamente después de ser preparado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO T 315-05. Transportation, Materials and Methods of Sampling and Testing (2006), AASHTO, EUA.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO T 301-99. Transportation, Materials and Methods of Sampling and Testing (2008), AASHTO, EUA.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO TP 70-07.

Transportation, Materials and Methods of Sampling and Testing (2008), AASHTO, EUA.

BASF (2009). Experiencias en el mejoramiento de asfaltos con SBR. Artículo técnico.

Hitti, E. (2009). Producción de asfaltos modificados en plantas de mezcla asfáltica en caliente. Curso de participación. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Mooney, K. (2008). Current Status for Multiple Stress Creep Recovery, NEAUPG Annual Meeting. EUA.

Salazar, J. (2008). Evaluación de la factibilidad del uso en Costa Rica de polímeros modificantes de asfalto incorporados en planta. Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica.

NCHRP- report 459 (2001).

SOBRE LOS AUTORES

Fabián Elizondo Arrieta

Ingeniero Civil. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica
Correo electrónico: fabian.elizondo@ucr.ac.cr

Jorge Salazar Delgado

Químico. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica
Correo electrónico: jorge.salazardelgado@ucr.ac.cr

Ernesto Villegas Villegas

Técnico. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica
Correo electrónico: ernesto.villegasvillegas@ucr.ac.cr