

**IAG56-01-2013**  
**PRODUCCIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS PARA MEZCLAS EN FRÍO CON SBS LINEAL DE DIFERENTE MICROESTRUCTURA**  
**PRODUCAO DE EMULCOES ASFÁLTICAS PRA MIXTURAS EM FRIO COM SBS LINEAL DE DIFERENTE PESO MOLECULAR**

Andrés Guerrero Álvarez, Gabriel Hernandez Zamora, Mariana Franco Clemente.  
Dynasol Altamira S.A. De C.V.  
Altamira, México.  
Andres.galvarez@dynasol.com.mx

## **Resumen**

Debido a que las emulsiones modificadas con elastómeros del tipo SBS ofrecen altas propiedades termomecánicas, han sido consideradas como una alternativa energética y ambientalmente amigable en aplicaciones utilizadas en mantenimientos, rehabilitación y construcción de pavimentos en frío. Estas han sido utilizadas exitosamente en tratamientos de campo tales como riegos de liga y riegos de sello, y su uso se ha propuesto para reciclados asfálticos en frío y mezclas frías. En este estudio se compararon las propiedades estructurales mediante el método de diseño Marshall de mezclas en frío fabricadas con emulsiones sin polímero, modificadas con látex y modificadas SBS lineal. Los especímenes fueron fabricados con agregado de granulometría densa y se le midió estabilidad y flujo Marshall. Los resultados muestran que las emulsiones con SBS lineal proveen estabilidades mayores a 1200 lb<sub>f</sub> y flujo mayores a 13 X 10<sup>-2</sup> in, mientras que las emulsiones convencionales y modificadas con látex proveen estabilidades menores a 1100 lb<sub>f</sub> y flujo menores a 10 X 10<sup>-2</sup> in. Mediante microscopía de fluorescencia se observaron tamaños menores de 5 micras en las emulsiones convencionales y con látex, y mayores a 7 micras en las emulsiones con SBS. Adicionalmente se midió la elasticidad y se determinó el grado de desempeño (PG) del asfalto residual de cada emulsión. Se concluyó que el uso de polímeros del tipo SBS ofrece mayor estabilidad y flujo. Los mayores valores de elasticidad y grado de desempeño se obtienen con SBS.

## **Resumo**

Porque as emulsões modificadas do tipo SBS elastômeros oferecem altas propriedades termomecânicas têm sido considerados como uma alternativa e energia ambientalmente amigável para misturas quentes e quente utilizados na manutenção, reabilitação e construção de calçadas, estes têm sido utilizados com sucesso no tratamento campo, como a irrigação e selo liga irrigação, e seu uso tem sido proposto para asfalto reciclado fria e mistura frio. Neste estudo, comparamos as propriedades estruturais do projeto método Marshall mix frio fez com emulsão sem látex de polímero-modificadas SBS linear e modificados. As amostras foram feitas de agregado densas é medida a estabilidade e fluxo de Marshall. Os resultados mostram que as emulsões com SBS linear proporcionar maiores estabilidades em maior fluxo de 1.200 lbf e 10,2 em X a13, ao passo que as emulsões convencionais e látex estabilidades modificados fornecer um fluxo menor em

1100 lbf e menos de  $10 \times 10^{-2}$  em . Por microscopia de fluorescência foram observadas tamanhos menores do que 5 micra de emulsões convencionais e de látex, e maior do que 7 micrómetros de emulsões com SBS. Além disso, a elasticidade foi medido e determinado o grau de desempenho (PG) de cada emulsão asfáltica residual. Concluiu-se que a utilização de polímeros de tipo SBS fluxo fornece também uma maior estabilidade. Os maiores valores de elasticidade e desempenho grau obtido com SBS.

## INTRODUCCIÓN

El ahorro de energía y el desarrollo sostenible se han convertido en algunas ideas complementarias dentro de las principales áreas de mejora en construcción de pavimentos (Iwánsky e Chomicz 2013), los cuales han generado una fuerte iniciativa hacia el uso de la tecnología de las emulsiones asfálticas modificadas. En recientes años, con la demanda de materiales más seguros y ambientalmente amigables, una cantidad sustancial de investigación y desarrollos tecnológicos han estado dedicados a la emulsificación de asfalto modificado con polímero (Zhang *et al*, 2012; Forbes *et al*, 2001; Sylvester, 2006). Tal interés proviene del buen desempeño que han mostrado los pavimentos fabricados con asfalto modificado, en el cual, el polímero actúa como un generador de propiedades tanto elastoméricas como termoplásticas. El Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) es en particular el polímero más comúnmente usado en asfaltos modificados para mezclas en caliente, al que se le puede atribuir termoplasticidad en temperaturas altas y elasticidad en temperaturas bajas, reduciendo la susceptibilidad a la deformación permanente y al agrietamiento térmico (Zhang *et al*, 2012; Fu *et al*, 2007; Masson *et al*, 2011; Lu *et al*, 1998; Baha e Hakan, 2011).

En la actualidad es de amplio interés poder obtener los mismos beneficios que proporciona el polímero pero en la aplicación de mezclas en frío, ya que la compactibilidad de la mezcla no está dada por su temperatura, las mezclas en frío son transportables en largas distancias y son por lo tanto ampliamente utilizadas en construcción y mantenimiento de caminos rurales y así evitar el costo energético, económico y ambiental que representa trasladar y producir una planta de mezcla en caliente (Doyle *et al*, 2007; Thanaya *et al*, 2009). Sin embargo, a pesar del potencial costo-beneficio asociadas con las mezclas en frío, hay un número de factores que frenan su uso, tal como la inconsistencia en las especificaciones internacionales y el incompleto conocimiento de la fuerza estructural que este tipo de mezclas puede desarrollar en su vida de servicio (Doyle *et al*, 2007).

Diversos estudios se han realizado en torno al uso de aditivos en las mezclas en frío, los cuales han sido dirigidos al aceleramiento del tiempo de curado para aumentar su resistencia inicial, tales como el cemento Portland y la cal, los cuales son usados en concentraciones que van de 1 a 3% peso/peso respecto al agregado. No obstante, estudios como el de Brown e Needham (2000), han mostrado que el uso de cemento Portland también mejora las propiedades mecánicas de las mezclas, tales como módulo de rigidez, resistencia a la deformación permanente y fatiga. Oruc *et al*. (2006) reemplazaron el filler del agregado por cemento Portland en proporciones de 0 a 6%, observando que las propiedades mecánicas como el módulo resiliente, susceptibilidad a la temperatura, resistencia al daño por humedad, creep y la resistencia a la deformación permanente fueron mejoradas por la adición del cemento Portland.

Otros estudios realizados con aditivos poliméricos también han mostrado importantes beneficios mecánicos en las mezclas asfálticas en frío, Chávez *et al.* 2007, mostró los beneficios del uso de los polímeros en las mezclas frías, mostrando que estos promueven la adherencia entre el agregado y el asfalto, aumentando así la resistencia a la deformación plástica. En su estudio agregaron una emulsión de polivinil acetato a una emulsión del tipo quick set, obteniendo así una emulsión asfáltica modificada, en la comparación realizada, observaron que la mezcla con emulsión modificada mejoró en un 31% el esfuerzo a la compresión con respecto a una mezcla con emulsión no modificada.

En este trabajo de investigación, emulsiones asfálticas de rompimiento lento (ECL-65) fueron modificadas con copolímeros de Estireno-Butadieno lineales de diferentes grados, el objetivo fue identificar el aporte de la microestructura del polímero en el desempeño mecánico (resistencia a la formación de roderas y resistencia al agrietamiento por fatiga) de la mezcla, comparando moléculas como SSBR, SB, SBS y una nueva tecnología llamada polímeros multiestructurales (SB)n-SBR con respecto a las emulsiones no modificadas y las emulsiones modificadas con Látex.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El asfalto base empleado fue obtenido de la refinería de Madero en México, este asfalto fue clasificado como AC-20 de acuerdo a la ASTM D3381, con un grado de desempeño de clasificación PG 70-16 de acuerdo a la ASTM D3381. Para el caso de las emulsiones modificadas con SSBR, SB, SBS y (SB)n-SBR, los asfaltos fueron previamente modificados con el 3% peso/peso de polímero respecto al asfalto y posteriormente emulsionados. La temperatura de mezclado en todos los casos fue de  $190 \pm 5$  °C, la dispersión del polímero en el asfalto se llevo a cabo durante 3 h utilizando un sistema de de agitación de alto esfuerzo cortante a 2500 rpm. El calentamiento de las muestras se realizó en parrillas eléctricas, y la temperatura fue monitoreada y controlada con termómetros marca Fluke modelo 52 II.

Las emulsiones preparadas fueron del tipo ECL-65 según la clasificación de la norma mexicana de la SCT para materiales asfálticos N-CMT-4-05-001-06, en todos los casos se utilizó un emulsificante base amina grasa, en la tabla 3 se muestran las características generales obtenidas de las emulsiones. Las emulsiones modificadas con Látex fueron preparadas mediante la adición del Látex (3% peso/peso sólidos respecto al asfalto) en la solución jabonosa, la cual se utilizó para emulsionar el asfalto base sin aditivos ni polímeros extras. El agregado utilizado corresponde a un triturado calizo de la zona con graduación específica tal como se muestra en la tabla 1, las propiedades físicas del agregado son mostradas en la tabla 2.

0.425 21

**Tabla 1: Distribución granulométrica del agregado**

Malla que pasa (mm)	Malla que retiene (mm)	Retenido (%)
25	12.5	20
12.5	4.75	19
4.75	0.425	40

**Tabla 2: Propiedades físicas del agregado**

Característica	Método	Valor
Desgaste de los Ángeles (%)	ASTM C131	20.5
Intemperismo acelerado (%)	AASHTO T 104	2.4

Partículas alargadas (%)	ASTM D4791	12	Equivalente de arena (%)	ASTM D2419	87
Partículas lajeadas (%)	ASTM D4791	8			

**Tabla 3: Características generales de las emulsiones producidas**

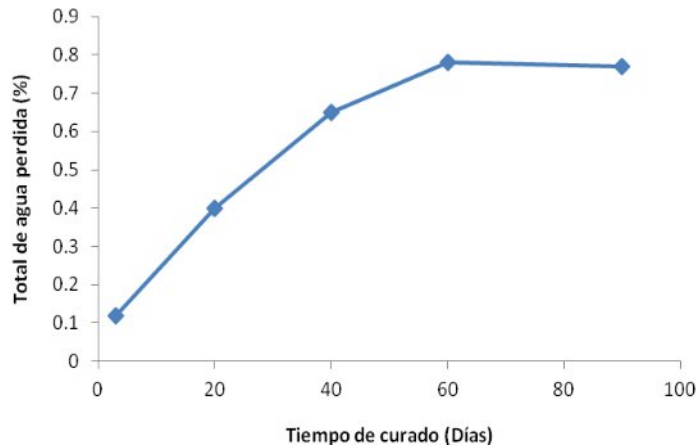
Característica	Valores
Contenido de cemento asfáltico	65 %
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	20 s
Asentamiento en 5 días	2.1 %
Retenido en malla 20 en la prueba del tamiz	0.02 %
Carga de la partícula	Positiva
pH (ASTM D1293)	3.8
<i>Del residuo de la destilación</i>	
Penetración a 25°C, 100 g y 5s	130 dmm
Solubilidad	98.3 %
Ductilidad a 25°C	45 %

Todos los especímenes fueron preparados de acuerdo al método de diseño Marshall para mezclas en frío (Asphalt Institute, 1989), el contenido de asfalto en peso respecto al agregado pétreo fue de 5.2% y fueron compactados a temperatura ambiente usando el martillo Marshall a 50 golpes por cara, en todos los casos se preparó 1100 g de mezcla para cada espécimen. El modulo resiliente es un método que se relaciona con la resistencia a la deformación permanente y al agrietamiento por fatiga, por lo que este análisis también fue desarrollado en los especímenes según ASTM D4123 con pulsos de 40 ms.

## RESULTADOS

El curado de los especímenes se llevó a cabo mediante la exposición de los mismos al aire del medio ambiente durante 90 días, por diferencia de peso se midió la pérdida de agua en una atmosfera de humedad relativa aproximada del 70%, en la figura 1 se observa el comportamiento de la pérdida de agua del espécimen control, en el cual se puede observar que en un periodo de curado de 60 días se registró una pérdida máxima de 0.78% de agua.

**Figura 1: Cantidad de agua perdida por el espécimen preparado con emulsión no modificad y 5.2% peso/peso de asfalto residual.**



En este estudio se realizó el análisis reológico del residuo asfáltico de las emulsiones producidas, los resultados reportados en la tabla 4 muestran que las propiedades reológicas del asfalto se ven mejoradas con el uso de copolímeros de Estireno-Butadieno. El asfalto residual de las emulsiones modificadas con SBS y (SB)n-SBR mostraron los mayores valores temperatura de falla con 79.2 y 78.8° C respectivamente, lo cual indica que ofrecen mayor resistencia a la formación de roderas con respecto al asfalto base el cual mostro una temperatura de falla de 70.5° C.

**Tabla 4: Análisis reológico del asfalto residual de las emulsiones producidas en este estudio.**

PROPIEDAD	SIN MOD	SSBR	LÁTEX	SB	SBS	(SB)n-SBR
<b>Reología al asfalto antes de RTFO</b>						
Módulo de corte dinámico ( $G^*/\text{sen } \delta$ ) a 76 °C, kPa	0.788	1.08	0.897	1.23	1.43	1.39
Temperatura máxima de falla reológica, °C	70.5	76.5	73.3	77.2	79.2	78.8
<b>Reología al asfalto después de PAV</b>						
$G^*$ seno $\delta$ a 16 °C, kPa	5720	6880	7500	7550	6210	6320
$G^*$ seno $\delta$ a 19 °C, kPa	4810	5350	6320	5850	5570	5490
$G^*$ seno $\delta$ a 22 °C, kPa	3360	4840	5710	4410	4420	4571
<b>Análisis de BBR al asfalto después de RTFO y PAV</b>						
Evaluación en BBR parámetro "S" a -12°C, MPa	114.0	104.0	135.0	86.7	86.0	94.4
Evaluación en BBR parámetro "m" a -12°C	0.291	0.322	0.302	0.350	0.343	0.332

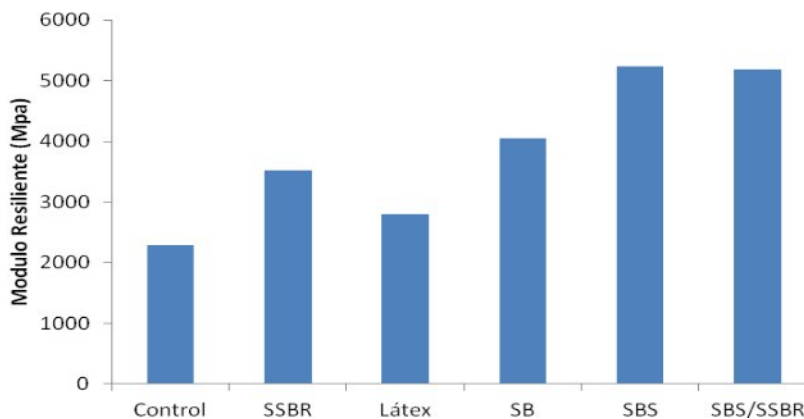
El modulo resiliente fue medido a 25° C en todos los especímenes a 60 días de curado, el porcentaje de vacios con el cual los especímenes fueron medidos se reporta en la tabla 5. En la figura 2 se observan los resultados del modulo resiliente de cada uno de los especímenes, el especimen con emulsión sin modificar registró un valor de 2290 MPa, mientras que todos los especímenes preparados con emulsiones modificadas mostraron valores de de modulo resilientes mayores, lo cual indica que el polímero aumenta la resistencia a la deformación plástica de la mezcla.

Los especímenes de emulsión modificada con SSBR mostraron un valor de modulo de 3520 MPa, mientras que los especímenes con Látex (E-SBR) mostraron 2800 MPa de modulo, 20.4%

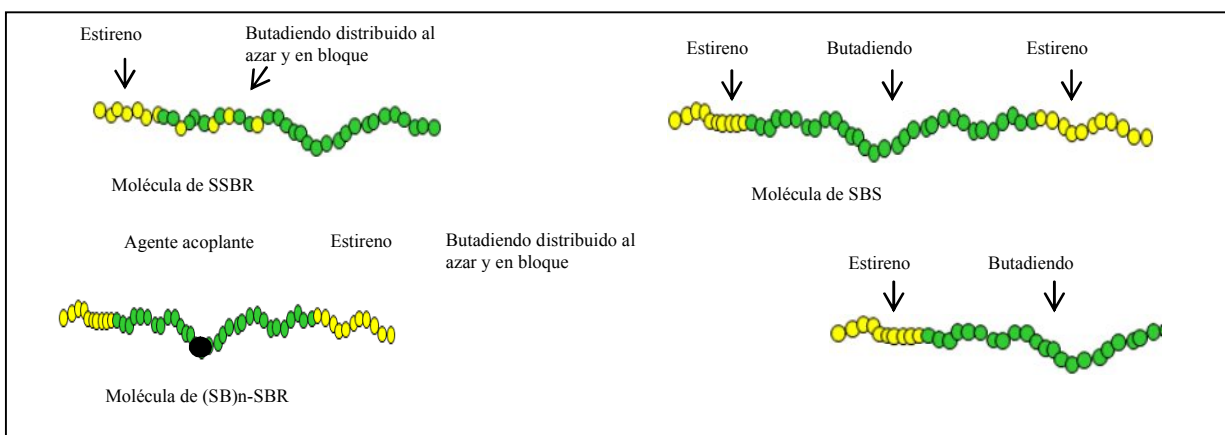
menos que con SSBR, esto puede ser debido a que el asfalto residual de las emulsiones modificadas con Látex no es un asfalto modificado como el de las emulsiones con SSBR, SB, SBS y (SB)n-SBR, además se supone que durante la producción de las emulsiones modificadas con Látex éste se homogeniza en la emulsión y en teoría queda disperso de manera homogénea en el asfalto residual. Sin embargo, estudios como el de Chávez *et al.* (2007), han reportado un fenómeno llamado *clustering*, el cual se refiere la formación de cúmulos de Látex dispersos de manera heterogénea en el asfalto residual de la emulsión, tal fenómeno es provocado por la fuerza centrífuga del molino coloidal evitando la homogénea dispersión del polímero en el asfalto.

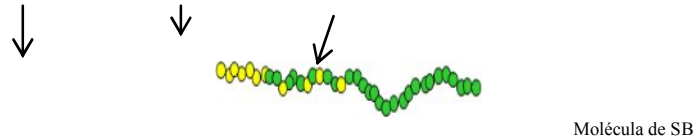
Los especímenes de emulsión modificada con SBS y (SB)n-SBR mostraron los más altos valores de modulo resiliente, esto es debido a que el copolímero previamente integrado al asfalto base, modifica y mejora las propiedades reológicas del asfalto residual de la emulsión, mejorando al mismo tiempo las propiedades de adherencia asfalto-pétreo, cohesión y elasticidad, las cuales se encuentran relacionadas directamente con la formación de roderas y agrietamiento por fatiga. En estudios anteriores los polímeros de SBS han mostrado importantes contribuciones a la adhesividad entre el asfalto y el agregado, Iskender *et al.* 2012, en un estudio donde investigaron la diferencia entre el SBS y una amina grasa como aditivo de adherencia, observaron que la mezcla asfáltica preparada con asfalto modificado con SBS mostró mayor valor de módulo resiliente que la muestra control y la modificada con la amina grasa en condiciones saturadas, permitiendo concluir que el SBS transfiere sus propiedades adhesivas al asfalto.

**Figura 2: Efecto de la microestructura del polímero sobre el modulo resiliente en los especímenes preparados.**



**Figura 3: Microestructura de los copolímeros de Estireno-Butadiendo utilizados en este estudio.**





En este estudio se observó que la microestructura de los polímeros influye en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, en la figura 3 se muestra una representación de la estructura molecular de los polímeros utilizados en este trabajo de investigación. Las moléculas de SSBR y del Látex, son moléculas compuestas de 25% de Estireno y 75% de Butadieno, por su alta pegajosidad son ampliamente utilizadas para la fabricación de adhesivos, lo cual es debido a la distribución al azar de los monómeros de butadieno a lo largo de la cadena. Las moléculas de SB o Diblock de Estireno-Butadieno están compuestas de 33% de Estireno y 67% de Butadieno, son adhesivas en un nivel ligeramente menor que las moléculas de SSBR, ya que el butadieno se encuentra agrupado en un block, sin embargo, estas moléculas aportan mayor estructura y módulo al asfalto que los SSBR.

Las moléculas de SBS corresponden a dos bloques de Estireno y a uno de Butadieno, acoplados de tal modo que el bloque de Butadieno queda entre los dos bloques de Estireno, la composición es de 31% de Estireno y el 69% de Butadieno, estas moléculas ofrecen menor adhesividad que las moléculas de SSBR y SB, no obstante, ofrecen importantes niveles de estructura, módulo y elasticidad al asfalto. Por tal razón el máximo valor de modulo de resiliencia fue obtenido con el SBS, sin embargo, a pesar de que el SBS es el polímero con mayor capacidad estructural que los SSBR y los SB, el segundo valor más alto de modulo resiliente fue obtenido con la combinación de (SB)n-SBR, lo cual es atribuido a que ambos polímeros trabajan en sinergia, y mientras el SBS aporta sus propiedades estructurales, el SSBR aporta sus propiedades adhesivas, resultando en mayores propiedades mecánicas para la mezcla en frío.

En la estabilidad y flujo Marshall se observaron comportamientos similares, por medio de los cuales se pudo definir el tipo de camino en el cual las mezclas fabricadas en este estudio pueden ser utilizadas según los criterios del Diseño Marshall proporcionados por el Asphalt Institute en enero de 1992 (Adendum to Mix Design Method for Asphalt Concrete and other Hot-Mix Types, Manual Series 2). La tabla 3 muestra los resultados obtenidos del análisis Marshall, en los cuales se puede observar que los especímenes con emulsión de SB, SBS y (SB)n-SBR ofrecen mayor desempeño al asfalto que los polímeros SSBR y Látex, permitiendo así la posibilidad de ser utilizados en caminos de mayor tráfico.

**Tabla 5: Efecto de la microestructura del polímero sobre la estabilidad y flujo Marshall.**

	Estabilidad Marshall (lb <sub>f</sub> )	Flujo (10 <sup>2</sup> in)	Vacios (%)	Tipo de tráfico
Control	830	12	9.14	Bajo
SSBR	1150	14	9.0	Bajo
Látex	1030	14	9.12	Bajo
SB	1290	15	9.08	Medio
SBS	1410	16	9.1	Medio

## CONCLUSIONES

Es una realidad que tanto en México, Latinoamérica y en otros países se carece de especificaciones y normas que indiquen la correcta forma de producir y aplicar mezclas en frío, esto provoca un atraso importante en el desarrollo de dicha tecnología la cual ofrece significativas ventajas económicas y ambientales. En Estados Unidos se ha empezado a investigar en torno a propiedades reológicas lo cual constituye una primera opción para el residuo asfáltico.

Se observó que la tasa de pérdida de agua de una mezcla en frío expuesta al medio ambiente es relativamente baja, por tal razón la estabilidad de las mezclas asfálticas en frío es baja en su vida inicial, ya que una mezcla en frío alcanza niveles altos de estabilidad cuando la humedad se ha perdido por completo o casi por completo.

El estudio reológico de los residuos asfálticos reveló que la emulsión modificada con polímeros entregan al pavimento asfaltos con mejores desempeños que las emulsiones que no son modificadas con polímero, sin embargo, es posible observar que el método de modificación juega un rol importante en las características finales del asfalto, ya que, como se mostró en este estudio, el residuo asfáltico de las emulsiones modificadas con Látex no son modificados en ningún momento del proceso y por ende, su desempeño es menor que los residuos de las emulsiones modificadas a partir de asfaltos modificados.

Las emulsiones modificadas fabricadas a partir de asfaltos previamente modificados, aseguran la homogeneidad del residuo asfáltico, y esto se ve reflejado en el desempeño tanto del residuo asfáltico como en el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica. Los residuos asfálticos de las emulsiones modificadas con SSBR, SB, SBS y (SB)n-SBR aumentaron un grado de desempeño en su clasificación PG, pasando de PG 70-16 del asfalto original a PG76-22 después del residuo de la destilación.

Tal como el modulo de corte dinámico del asfalto se ve mejorado con el uso de polímeros, el desempeño mecánico de la muestra de igual manera se ve mejorada. En este estudio se observó que los asfaltos modificados antes de ser emulsionados, ofrecen mayor resistencia a la formación de roderas y a la fractura por fatiga que las emulsiones no modificadas o las modificadas con Látex, siendo las modificadas con SBS y con (SB)n-SBR las que ofrecen mejor desempeño.

La estabilidad Marshall indica según el criterio establecido por Asphalt Institute que las emulsiones modificadas con SB, SBS y (SB)n-SBR pueden ser utilizadas en la fabricación de mezcla en frío destinado a la pavimentos con nivel medio de tráfico, mientras que las modificadas con SBR, Látex y las no modificadas, solo pueden ser empleadas en pavimentos de niveles bajos de tráfico.

## REFERENCIAS



Doyle, T., McNally, C., Gibney, A., Tabaković, A. (2013), Developing maturity methods for the assessment of cold-mix bituminous materials. *Construction and building Materials*, Vol. 38, p. 524-529.

Iwáński, M., Chomicz-Kowalska A. (2013). Laboratory Study on Mechanical Parameters of Foamed Bitumen Mixtures in the Cold Recycling Technology. *Procedia Engineering*, Vol. 57, p. 433-442.

Choudhary, R., Mondal, A., Kaulgud, H. (2012), Use of Cold Mixes for Rural Road Construction. *International Conference on Emerging Frontiers in Technology for Rural Area*.

Iskender, E., Aksoy, A., Ozen, H. (2012), Indirect performance comparison for styrene-butadiene-styrene polymer and fatty amine anti-strip modified asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, Vol. 30, p. 117-124.

Zhang, Q., Fan, W., Wang, T., Nan, G., Sunarso, J. (2012), Influence of emulsification on the properties of styrene-butadiene-styrene chemically modified bitumens. *Construction and building Materials*, Vol. 29, p. 97-101.

Baha VK, Hakan Ç. (2011), Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt. *Constr Build Mater*, Vol. 25, p. 3204-12.

Thanaya, I., Zoorob, S., Forth, J. (2009), A laboratory study on cold-mix, cold-lay emulsion mixtures. *Proc Inst Civil Eng Transport*. Vol. 162 p. 47-55.

Chavez, L., Alonso, E., Manzano, A., Perez, J., Contreras, M., Signoret, C. (2007), Improving the compressive strengths of cold-mix asphalt using asphalt emulsion modified by polyvinyl acetate. *Constr Build Mater*, Vol. 21, p. 583-89.

Fu H., Xie L., Dou D., Li L., Yu M., Yao S. (2007), Storage stability and compatibility of asphalt binder modified by SBS graft copolymer. *Constr Build Mater*, Vol. 21, p. 1528-33.

Oruc, S., Celik, F., and Akpinar, M.V. (2007), Effect of Cement on Emulsified Asphalt Mixtures. *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 16(5), p. 578-583.

Sylvester Laurence M. (2006), RAM Technologies, Inc. Quick-setting cationic aqueous emulsions using pre-treated rubber modified asphalt cement. US 7087665. 2006 Aug 8.

Forbes, A., Haverkamp, R., Robertson, T., Bryant, J., Bearsley, S. (2001), Studies of the microstructure of polymer-modified bitumen emulsions using confocal laser scanning microscopy. *J Microsc*, Vol. 7, p. 204-252.

Masson J-F, Pelletier L, Collins P. (2001), Rapid FTIR method for quantification of styrene-butadiene type copolymers in bitumen. *J Appl Polym Sci*, Vol. 79, p. 1034-41.

Brown, S., Needham, D. (2000), A Study of Cement Modified Bitumen Emulsion Mixtures. *Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists*.

Lu X, Isacson U. (1998), Chemical and rheological evaluation of ageing properties of SBS polymer modified bitumens. *Fuel*, Vol, 77, p. 961–72.

The Asphalt Institute, (1989) Asphalt Cold Mix Manual. *Asphalt Institute Manual* Series No. 14 (MS-14). 3<sup>rd</sup> Ed.