

Uso del reforzamiento flexible en betunes modificados para pavimentos

Gabriel Hernández Zamora,
gabriel.hernandez@dynasol.com

Rodolfo Barragan Ramírez,

Rodolfo M. López Delgado,

Juana Treviño Trujillo

Este trabajo presenta el uso de betunes modificados utilizando elastómeros de estireno-butadieno como polímeros modificadores que brindan reforzamiento elástico y flexibilidad cuando el betún se combina con agregados pétreos en formulaciones de mezcla en caliente. La primera sección del trabajo permite ver que estos betunes modificados permiten formular mezclas con hasta 30% de RAP reemplazando en la misma proporción el agregado pétreo, manteniendo valores de módulos de resiliencia y resistencia a rodera por rueda cargada en valores parecidos a especímenes de mezcla en caliente sin RAP. La segunda parte del trabajo presenta una nueva familia de elastómeros SB de alto contenido vinílico que infiere alta elasticidad y flexibilidad a la mezcla, manteniendo al betún en niveles procesables de viscosidad, y que puede cumplir los más altos estándares reológicos de acuerdo a la norma AASHTO M332, y que además puede aplicarse hacia otras áreas de aplicación como emulsiones de betún modificadas para slurry seal altamente elástico.

Palabras Clave: RAP, SBS, Slurry seal, elastómero SB, vinilo.

This work presents the use of modified bitumen using styrene-butadiene elastomers as polymeric modifiers. These polymers impart elastic reinforcement and flexibility when this polymer modified bitumen (PMB) is combined with petrous aggregates in hot mix bitumen formulations. First section of this work includes application of PMB combined with 30% of RAP replacing the aggregate in the same proportion and keeping resilience modulus and loading wheel tracking test for rutting resistance as the same as obtained with hot mix bitumen prepared with the aggregate without RAP. Second part of this work, introduces a new family of high vinyl styrene-butadiene elastomers which confer high elasticity and flexibility to PMB, keeping the levels of viscosity easy for being processed and accomplishing all rheological standards according with AASHTO M332 besides of the possibility to be applied in other applications as polymer modified asphalt emulsions for highly elastic slurry seals.

Keywords: RAP, SBS, Slurry seal, SB elastomer, vinyl.

1. INTRODUCCIÓN

El asfalto o betún es uno de los materiales de ingeniería más antiguos que se conoce y que se ha utilizado para la construcción de pavimentos. En nuestra época sus usos se han diversificado aprovechando sus propiedades adhesivas y la dependencia de sus estados físicos en función de la temperatura

a la que se encuentre. Adicional a la aplicación en pavimentos, el betún se ha utilizado para producir impermeabilizantes, materiales para rehabilitar las carreteras con emulsiones bituminosas, materiales adhesivos y selladores de grietas.

De acuerdo a una publicación del año 2015 del Asphalt Institute y Eurobitumen [1], la producción global de betún en el mundo es de aproximadamente 87 millones de toneladas por

Uso del reforzamiento flexible en betunes modificados para pavimentos

año, de las cuales el 85% se utiliza para diferentes aplicaciones de pavimentos.

Los países desarrollados han tenido un crecimiento importante particularmente después de la segunda guerra mundial; y en conjunto a dicho crecimiento ha venido el alto volumen de tráfico, alta densidad de carga, los cuales en combinación con un mantenimiento insuficiente produce daños severos en la superficie del pavimento (roderas y grietas). Lo anterior ha promovido diferentes investigaciones para mejorar las propiedades del betún y a la vez la durabilidad de los pavimentos.

Muchas de estas investigaciones incluyen el uso de betún modificado con polímeros, y uno de los grupos de polímeros más aplicados son los elastómeros de estireno-butadieno [2,3], de los cuales se han estudiado diversos temas que incluyen desde su naturaleza, compatibilidad y cambios de propiedades reológicas y termomecánicas que infieren al betún modificado [4,5].

Adicional a las mejoras en el uso de betunes modificados, se han perseguido nuevos retos de aplicación del betún con una visión de sustentabilidad, por ejemplo, el uso de betún reciclado [6, 7, 8] a partir de pavimentos triturados tipo RAP (reclaimed asphalt pavement) y la interacción de dichos betunes reciclados con betunes modificados con polímero [9] para mejorar las propiedades que ha sufrido el primero a través del envejecimiento con el tiempo.

Por otro lado, también se han generado tecnologías que permitan mejoras importantes en propiedades de recuperación elástica y flexibilidad [10], a un nivel en el que se reduzca de manera sobresaliente la generación de roderas ante este incremento del tránsito mediante el uso de polímeros que generan baja viscosidad, mejor procesamiento cuando se elabora el asfalto modificado y un nivel de flexibilidad y recuperación elástica que permiten generar módulos de reforzamiento importantes sin dificultad para poder elaborar mezclas de betún en caliente.

Este trabajo presenta dos casos, uno de ellos dirigido al uso de RAP combinado con betún modificado para lograr mejoría en la fatiga de una mezcla en caliente; y, el segundo caso, una nueva generación de betunes modificados con elastómeros SBS de alto vinilo que promueve baja viscosidad para obtener betunes altamente flexibles con mejora sustancial en la reducción de roderas [15].

2. MATERIALES

2.1. Uso de betún modificado con RAP en mezcla en caliente.

En esta primera etapa se seleccionó un elastómero de estireno butadieno tipo SBS lineal que presenta las propiedades descritas en la tabla 1.

Este polímero se mezcló en una proporción de 2.5% peso/peso con betún virgen grado PEMEX EKBE PG 64-22 de la refinería de Salamanca para llegar a un betún modificado grado PG 76E-22, con las propiedades descritas en la tabla 2. La figura 1 presenta el esquema representativo de la estructura del SBS utilizado.

Para este estudio se utilizó un banco de agregado calizo del AVRA ubicado cerca de Tampico, Tamaulipas, México. El control granulométrico de dicho agregado siguió un diseño tipo SUPERPAVE como se describe en la tabla 3 para el tamaño nominal de 19 mm y la figura 2 presenta la curva de distribución granulométrica del agregado pétreo utilizado. Se utilizó también un RAP triturado obtenido del almacén de Tampico, Tamaulipas, el cual se tamizó para obtener una granulometría controlada de acuerdo recomendación AMAAC [11], que se describe en la tabla 4, y la figura 3 presenta su distribución granulométrica comparando contra los límites establecidos para el control del agregado pétreo virgen mencionado antes.

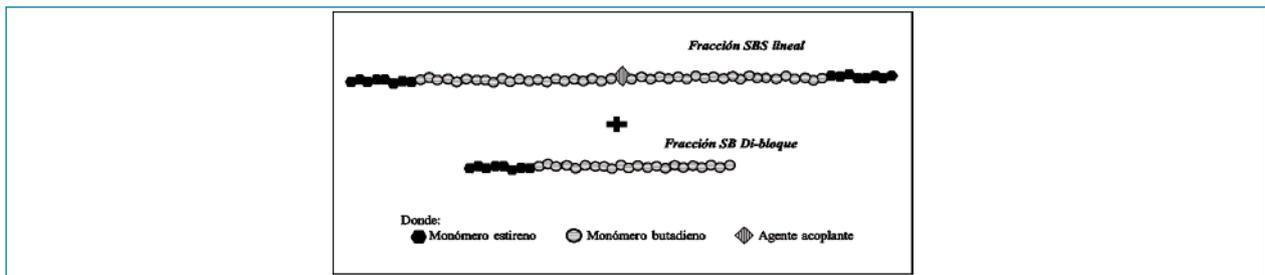


Figura 1. Estructura del SBS lineal

Tabla 1. Propiedades del polímero modificador de betún tipo SBS lineal.

PROPIEDAD DEL POLÍMERO SBS	VALOR
Contenido de estireno total; % peso/peso	33
Bloque de poliestireno; % peso/peso	31
Configuración del SBS	SBS lineal
Viscosidad Brookfield en Tolueno al 25% de sólidos, mPa.s	700
Fracción de SBS lineal, %	20
Fracción de dibloque SB di-block, %	80
Índice de fluidez a 200°C y 5 Kg, g/10min	8
Dureza Shore A	69

Tabla 2. Propiedades de betún modificado con SBS.

PROPIEDAD	METODO DE PRUEBA	VALOR
Temperatura de ablandamiento, °C	ASTM D36	57
Penetración a 25°C (77°F), 100 g, 5 s, dmm	ASTM D5	51
Viscosidad Brookfield a 135°C (275°F), cP	ASTM D4402	1087
Recuperación elástica por torsión, %	M.MMP.4.05.024/02	51
Ductilidad a 4°C (39.2°F), cm	ASTM D113	25
Recuperación elástica por ductilómetro a 25°C (77°F) después de RTFO, %	N-CMT-4.05.002/06	71
Grado PG SUPERPAVE, °C	SUPERPAVE (AASHTO M320 y M332)	76E-22

Tabla 3. Granulometría del agregado pétreo.

Granulometría del agregado	Apertura (mm)	Porcentaje que pasa (%)
1 in	25	100
3/4 in	19	92
1/2 in	12.5	76
3/8 in	9.5	65
1/4 in	6.3	50
4	4.75	42
10	2	27
20	0.85	17
60	0.25	9
200	0.075	4

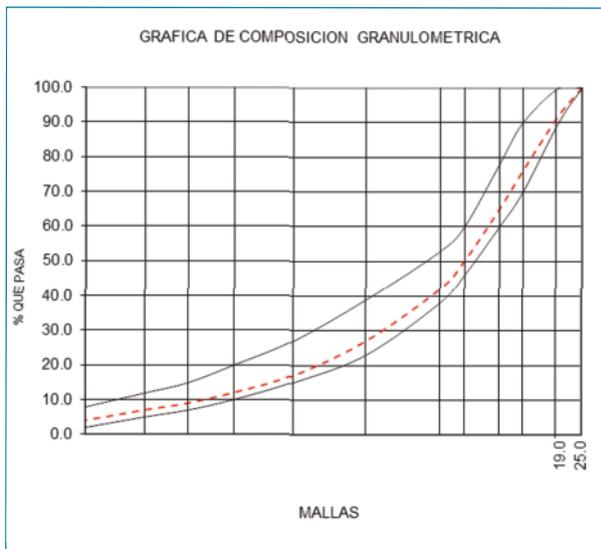


Figura 2. Distribución granulométrica del agregado pétreo en tamaño nominal 19 mm de acuerdo con SUPERPAVE.

Tabla 4. Granulometría del RAP de acuerdo con recomendación AMAAC.

TAMIZ		Control granulométrico
(Pulgadas)	(milímetros)	
1.25	31.30	100
1	25.00	85 - 95
3/4	19.00	75 - 85
Number 4	4.75	30 - 40
Number 30	0.60	1 - 5

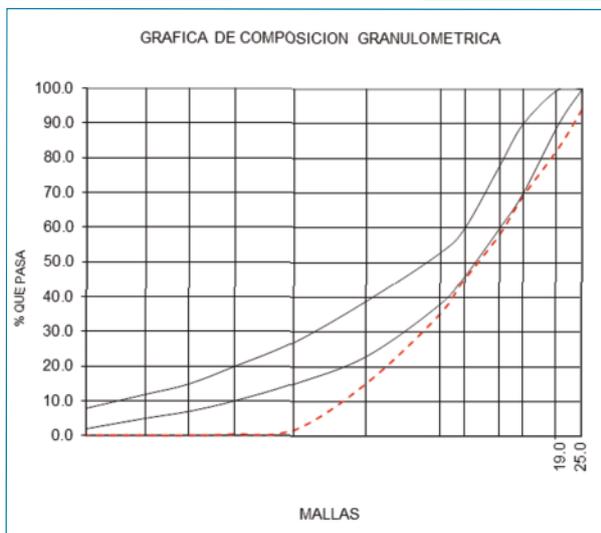


Figura 3. Curva granulométrica del RAP triturado controlado con los límites de la tabla 4 (de acuerdo con la recomendación AMAAC) y comparando contra los límites del agregado pétreo virgen.

2.2. Betunes modificados con altas propiedades elásticas.

Para esta segunda parte se utilizó un segundo tipo de elastómero lineal con alto contenido de estructura vinílica (1,2-Butadieno) con las propiedades descritas en la tabla 5, y asfalto mexicano grado PEMEX EKBE PG 64-22 de la refinera de Salamanca.

3. DESARROLLO

3.1. Uso de betún modificado con RAP en mezcla en caliente.

En diferentes estudios se ha reportado que los elastómeros de SBS generan reforzamiento en el betún modificado, esto se traduce en un incremento de propiedades como el módulo de corte reológico (rigidez) o la reducción de la penetración. En la figura 4 se presentan las tendencias de estas variables mencionadas utilizando el elastómero SBS lineal descrito en la tabla 1 y modificando el betún virgen EKBE PG 64-22 a dos concentraciones de polímero de 2 y 3% peso/peso.

En algunos estudios se han reportado resultados de investigaciones de aplicación de RAP [12] fundamentándose en el resultado de la mezcla en caliente final; sin embargo, un tema de interés es estudiar el efecto que tiene la combinación de un betún modificado con el betún del RAP que se utilizará en la mezcla, en principio se esperaría que el betún contenido en el RAP debería de tener una composición química diferente a un betún convencional. Para probar lo anterior se llevó a cabo la extracción de betún de RAP utilizando un equipo rotarex siguiendo el método ASTM D2162 [13] y utilizando cloruro de metileno como disolvente para la extracción del betún. Posteriormente con el uso de un equipo de destilación rotatoria (rotavapor) se recuperó el betún que fue analizado por latroscan para comparar la composición de las fracciones que integran al betún envejecido comparado con betún convencional como se muestra en la figura 5.

Tabla 5. Propiedades del polímero modificador de betún tipo SBS lineal de alto vinilo.

PROPIEDAD DEL POLÍMERO SBS ALTO VINILO	VALOR
Contenido de estireno total; % peso/peso	31
Bloque de poliestireno; % peso/peso	31
Configuración del SBS	SBS lineal
Viscosidad Brookfield en Tolueno al 5.23% de sólidos, mPa.s	9.5
Fracción de SBS lineal, %	100
Fracción de dibloque SB di-block, %	0
Dureza Shore A	70

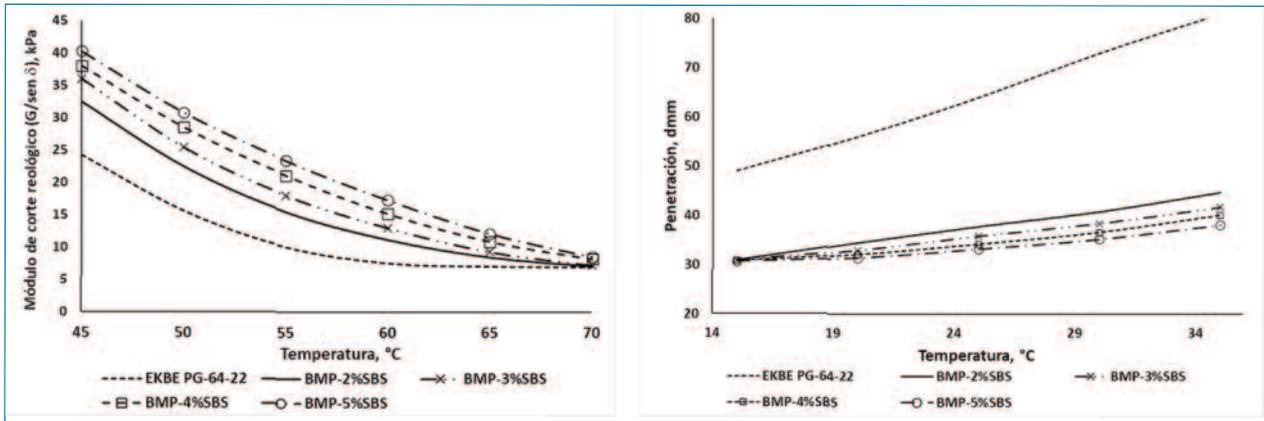


Figura 4. Ejemplo de reforzamiento del betún modificado en propiedades de módulo de corte reológico y penetración.

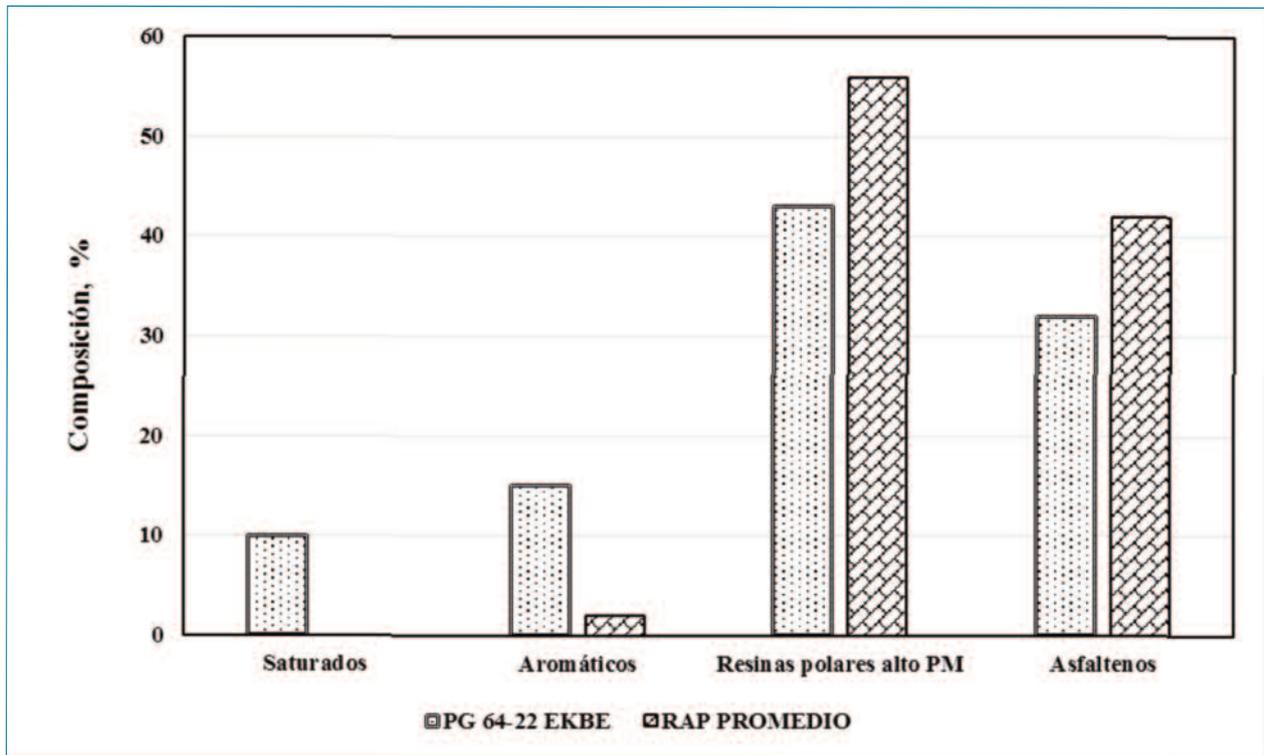


Figura 5. Estudio de composición comparativo entre el betún convencional y betún extraído del RAP.

Uso del reforzamiento flexible en betunes modificados para pavimentos

Se utilizó el betún extraído del RAP para observar el efecto de su combinación con betún convencional y por otro lado con betún modificado cuyas propiedades previamente se han descrito en la tabla 2, y se midió el efecto de las mezclas en el módulo de corte reológico ($G^*/\text{sen } \delta$), observando las tendencias descritas en la figura 6.

peratura, por ejemplo, para 64°C, $B_1=B_2=0.016$; para 70°C, $B_1=B_2=0.026$, y para 76°C, $B_1=B_2=0.036$, resultado curioso que por cada 6 grados de temperatura estas constantes B_1 y B_2 se van moviendo en un valor incremental de 0.01.

Para preparar diferentes mezclas en caliente con diferente proporción de RAP se fueron haciendo combinaciones del agregado

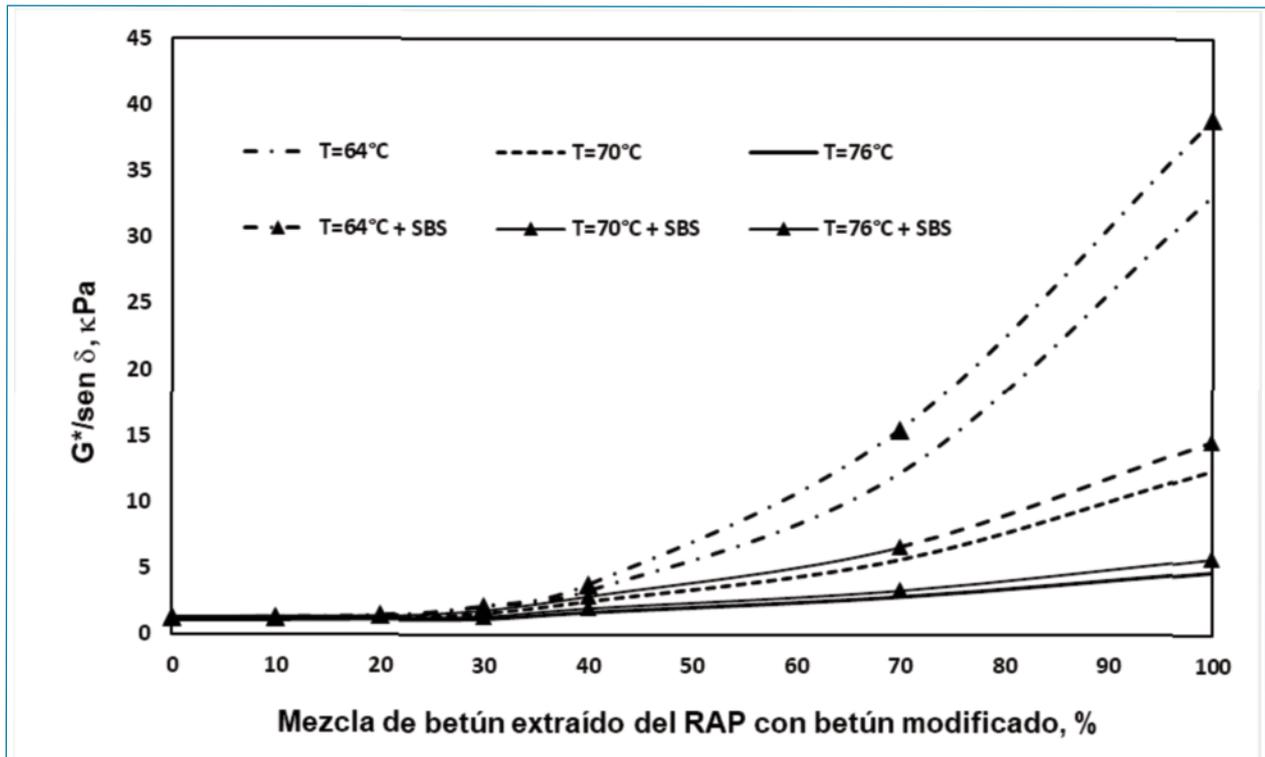


Figura 6. Efecto en el módulo de corte reológico de combinación de betún extraído de RAP con betún convencional y betún modificado con SBS.

Las curvas observadas en la figura 6 son funciones exponenciales descritas por las ecuaciones (1) y (2) (la primera para la combinación de betún del RAP con betún convencional y la segunda de la combinación de dicho betún del RAP con betún modificado con SBS).

$$\varphi = A_1 \exp(B_1) v \quad \dots \text{Ec. 1}$$

$$\varphi = A_2 \exp(B_2) v \quad \dots \text{Ec. 2}$$

Donde φ es el módulo de corte reológico, A_1 , A_2 , B_1 y B_2 son constantes que dependen de la temperatura de prueba; y, v es la fracción de betún extraído del RAP, y después mezclado bien sea con el betún convencional o con betún modificado con polímero.

En todas las curvas experimentales obtenidas se observa que $A_2 = 1.17A_1$, y que $B_1=B_2$; sin embargo, B_1 y B_2 varían con la tem-

pétreo descrito en la tabla 3, con RAP controlado con la granulometría mencionada en la tabla 4, y se fueron midiendo las estabilidades Marshall para determinar el punto óptimo en cada proporción de RAP incluido en la mezcla, con probetas compactadas en prensa Marshall con 50 golpes por cada lado. Los resultados de las curvas de estabilidad se presentan en la figura 7, donde se observa que conforme se va incrementando el contenido de RAP en la mezcla se va necesitando menos contenido de betún modificado para llegar al punto óptimo de la estabilidad Marshall, esto nos indica que el RAP también da aporte en dicha estabilidad.

En otra experimentación realizada, si se mantiene constante la concentración de betún modificado a un 5% peso/peso en la mezcla en caliente, y se va variando el contenido de agregado pétreo y RAP se observó un comportamiento en los valores de estabilidad Marshall como se describe en el histograma de la figura 8; y, además se

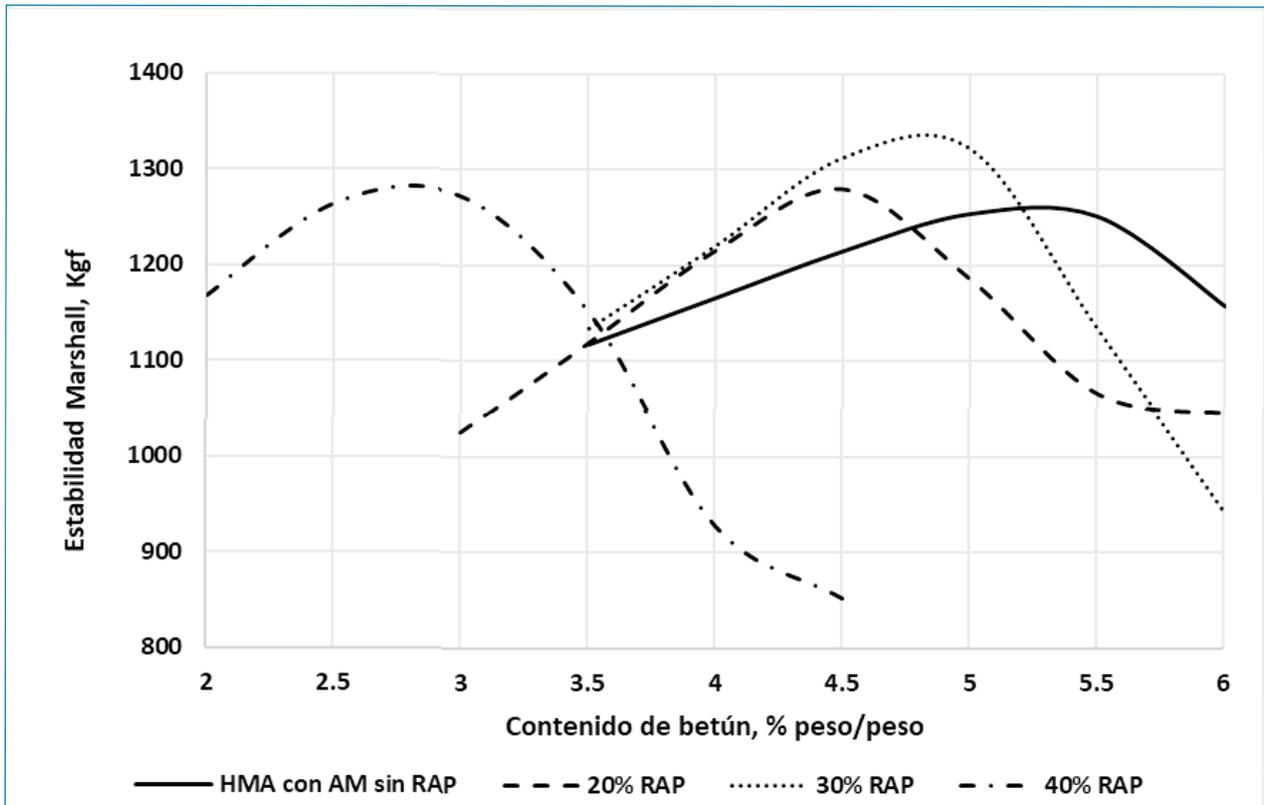


Figura 7. Estabilidades Marshall de mezclas calientes tipo HMA para encontrar el punto óptimo de betún modificado en mezclas con RAP.

midió la resistencia a la formación de roderas utilizando la rueda cargada APA con 8000 ciclos en estado saturado y seco, observando los resultados obtenidos en la figura 9. En esta figura 9, se observa que el betún modificado con SBS permite mejorar la resistencia a la formación de roderas cuando se compara frente al betún virgen, manteniendo el nivel de resistencia con 30% de incorporación de RAP en la formulación de la mezcla en caliente. Con un 40% de RAP, el nivel de formación de rodera es mayor que el betún convencional y muy cercano al límite de aceptación de 10 milímetros de profundidad. Si no se controla la granulometría del RAP llegamos a una condición inestable donde se pierde la resistencia estructural.

En el aporte estructural definitivamente hay una contribución del RAP que puede hacer sinergia con el betún modificado. Para ver el efecto del betún modificado se compararon formulaciones de mezclas en caliente sin RAP comparando el betún modificado con el betún convencional y observando una mejoría en la estabilidad Marshall como se presenta en la figura 10.

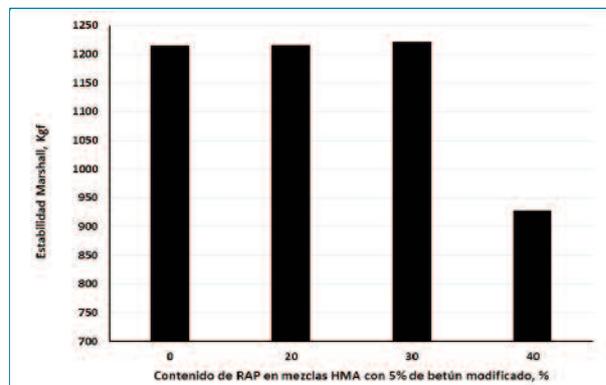


Figura 8. Evolución de la estabilidad Marshall manteniendo constante el contenido de betún modificado y variando el contenido de RAP en la mezcla tipo HMA.

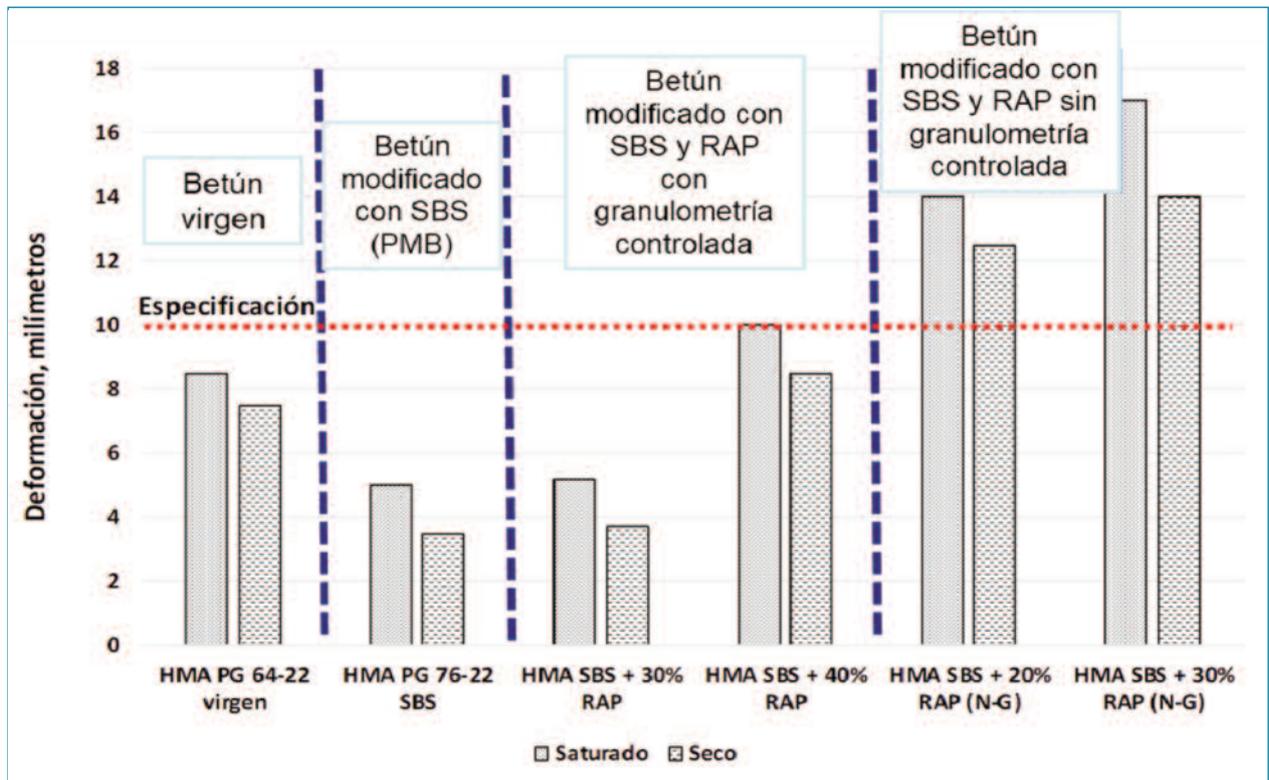


Figura 9. Formación de rodera medida por rueda cargada APA.

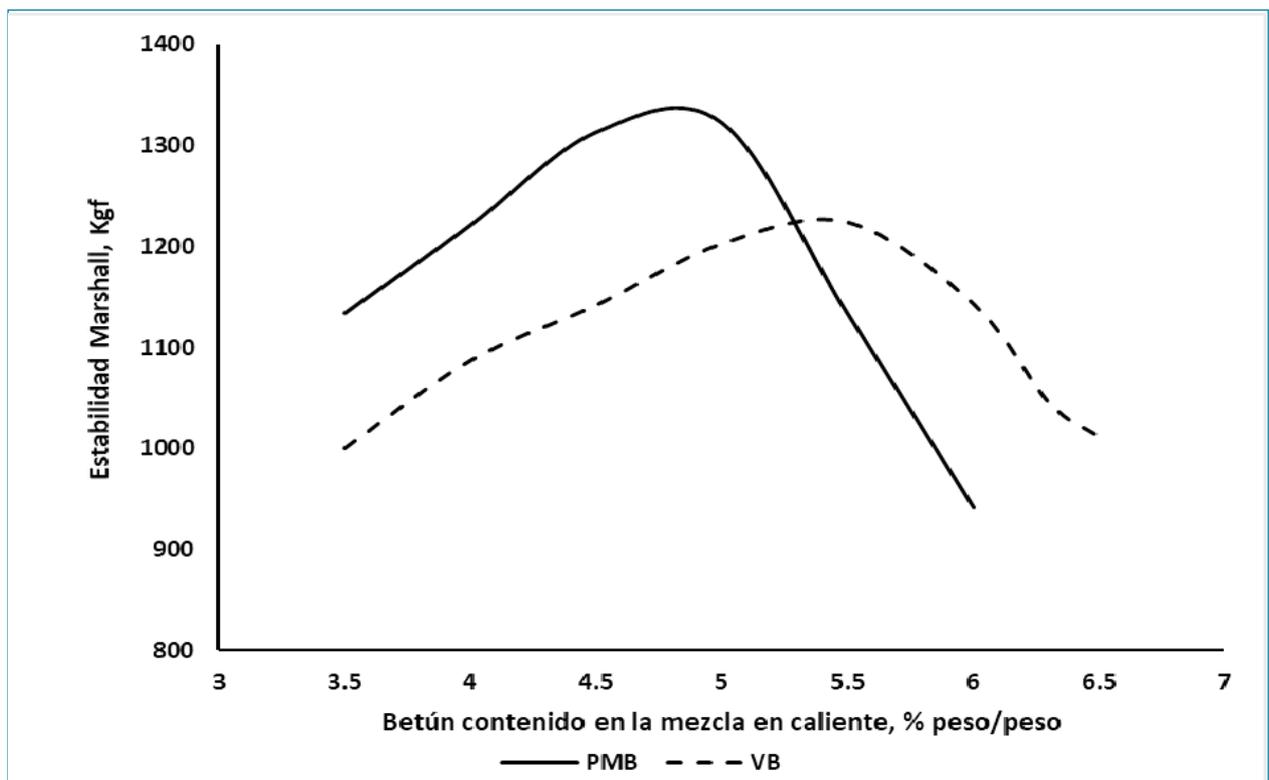


Figura 10. Estudio comparativo de estabilidad Marshall en mezclas formuladas con betún convencional comparadas frente a mezclas formuladas con betún modificado.

También, en esta investigación también se comparó el desempeño a la fatiga, utilizando un equipo de compactación giratoria para preparar especímenes de mezcla de betún caliente controlando el contenido de vacíos de $4 + 1\%$; después, estos especímenes fueron cortados para obtener especímenes de vigas de fatiga para medir el número de ciclos de resistencia antes de su ruptura, utilizando ciclos de vibración de 10 Hertz a 20°C , con una deformación controlada del 5%. La figura 11 muestra las tendencias de la prueba de fatiga comparando tanto al betún modificado con polímero como al betún virgen o convencional utilizados en la formulación de la mezcla caliente. Se debe recordar cómo se hace mención del inicio de esta parte 1, que el betún modificado lleva en su composición 2.5% peso/peso de SBS lineal (descrito en la tabla 2) en betún PG 64-22 para llegar a un grado PG final PG 76E-22, con cuatro preparaciones independientes de especímenes para observar la repetibilidad en la medición. Igualmente, se hicieron 4 preparaciones de especímenes independientes utilizando el mismo lote de betún virgen.

miento del betún con propiedades altamente elásticas, es factible utilizar SBS de alto contenido de vinilo como el que se describe en la tabla 5. Estos polímeros permiten manejar altas concentraciones en el betún modificado buscando obtener el mayor reforzamiento, pero a la vez una alta capacidad de recuperación elástica para disminuir las roderas, como puede verse en el histograma de la figura 12, en mezclas tipo HMA con 5.5% de ligante bituminoso. En la parte baja del eje de las abscisas se menciona la viscosidad del ligante bituminoso observando que con SBS típicos, a altas concentraciones se rebasa el valor de seguridad permitido en la viscosidad Brookfield a 135°C que es de máximo 3000 cP de acuerdo a la norma SUPERPAVE.

En la figura 13 se observa la respuesta elástica medida por el método AASHTO M332 [14] de los betunes altamente modificados con elastómeros SBS de alto vinilo, los cuales generan materiales más rígidos (menor compliance Jnr), pero con una respuesta elástica mayor. Lo anterior se debe a que el elastómero forma redes de polímero más homogéneas en su distribución sobre la matriz de betún, re-

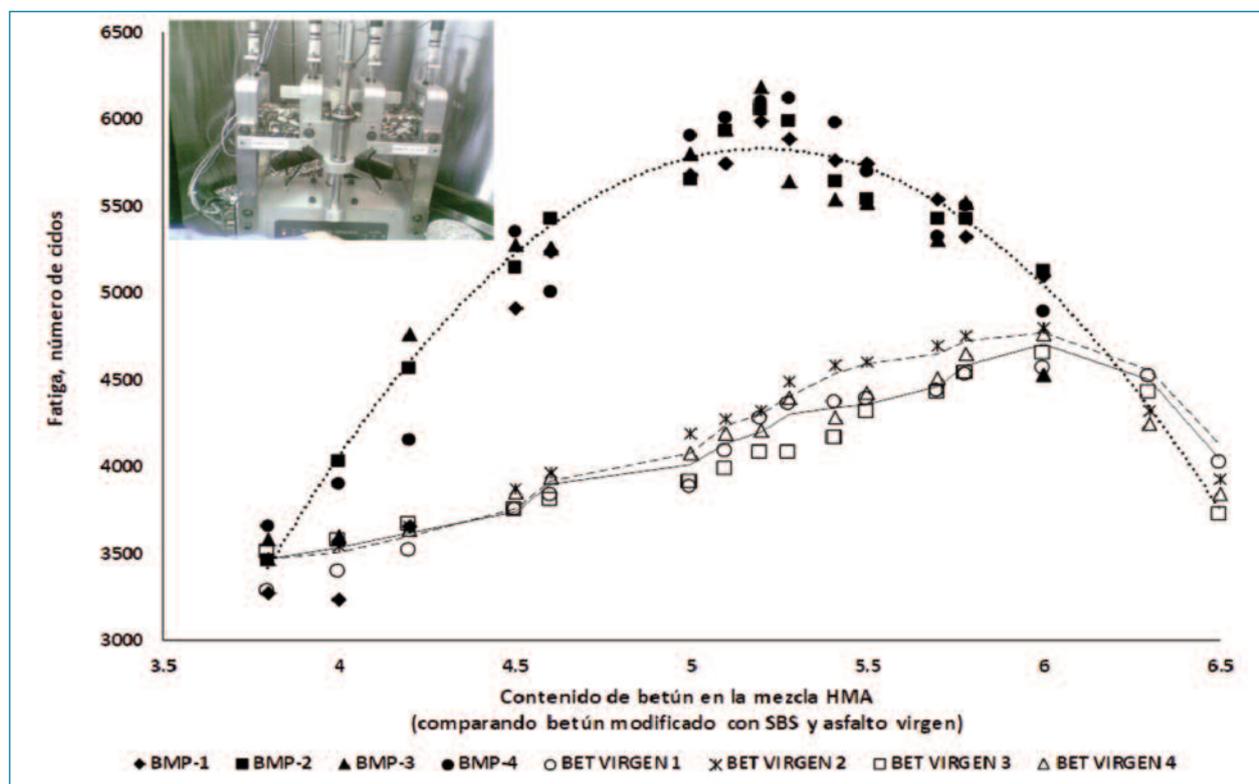


Figura 11. Resistencia a la fatiga en especímenes de mezcla en caliente comparando betún modificado con SBS (BMP) versus betún virgen convencional (BET Virgen).

3.2. Betunes modificados con altas propiedades elásticas.

En la búsqueda de materiales que permitan tener un reforza-

duciendo los dominios de betún libre y generando un material más elástico.

Estas tecnologías de pavimentos altamente elásticos también presentan muy alta flexibilidad, que puede aplicarse a tecnologías de

Uso del reforzamiento flexible en betunes modificados para pavimentos

emulsiones bituminosas para slurry seal y tratamientos de microsuperficie como se muestra en la figura 14, donde presenta una muestra de slurry seal, que se flexiona en forma de U y la probeta recu-

pera su forma aprovechando estas propiedades altamente elásticas antes mencionadas.

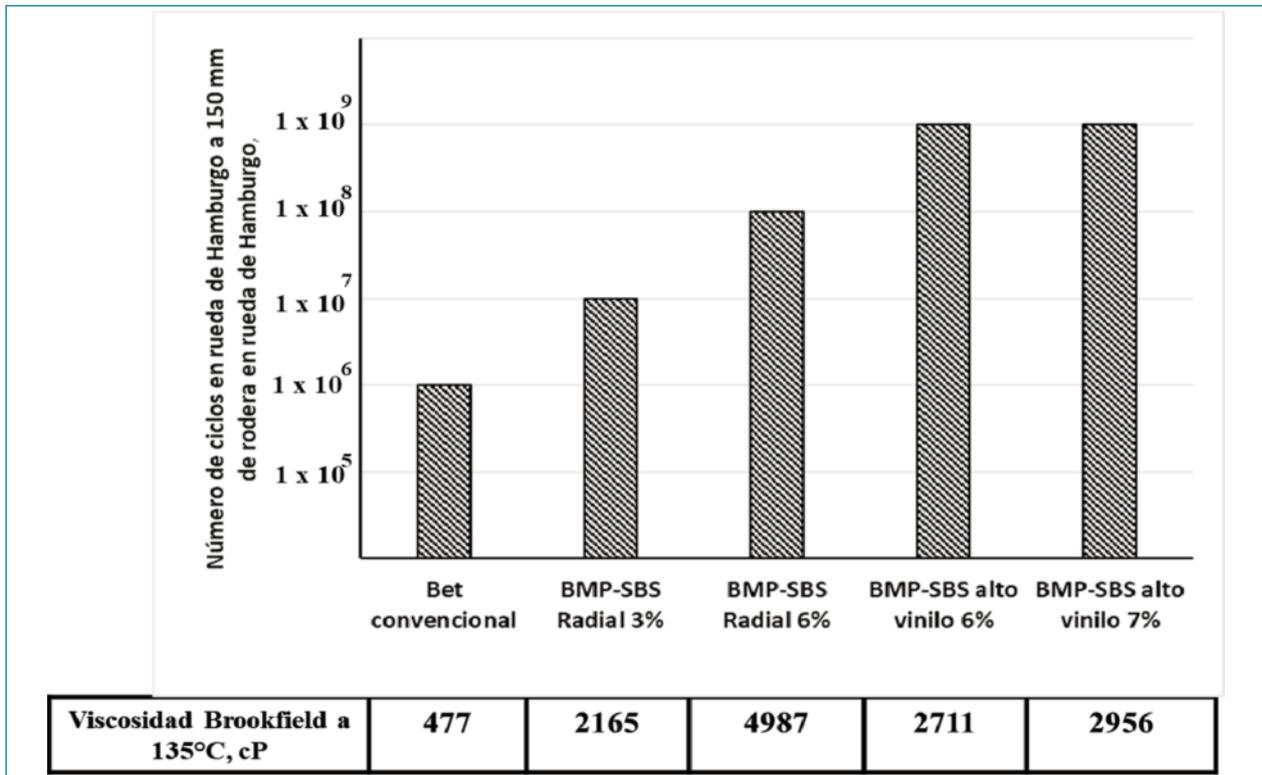


Figura 12. Mejora en el número de ciclos de rueda de Hamburgo con el uso de betunes altamente modificados con SBS de alto vinilo.

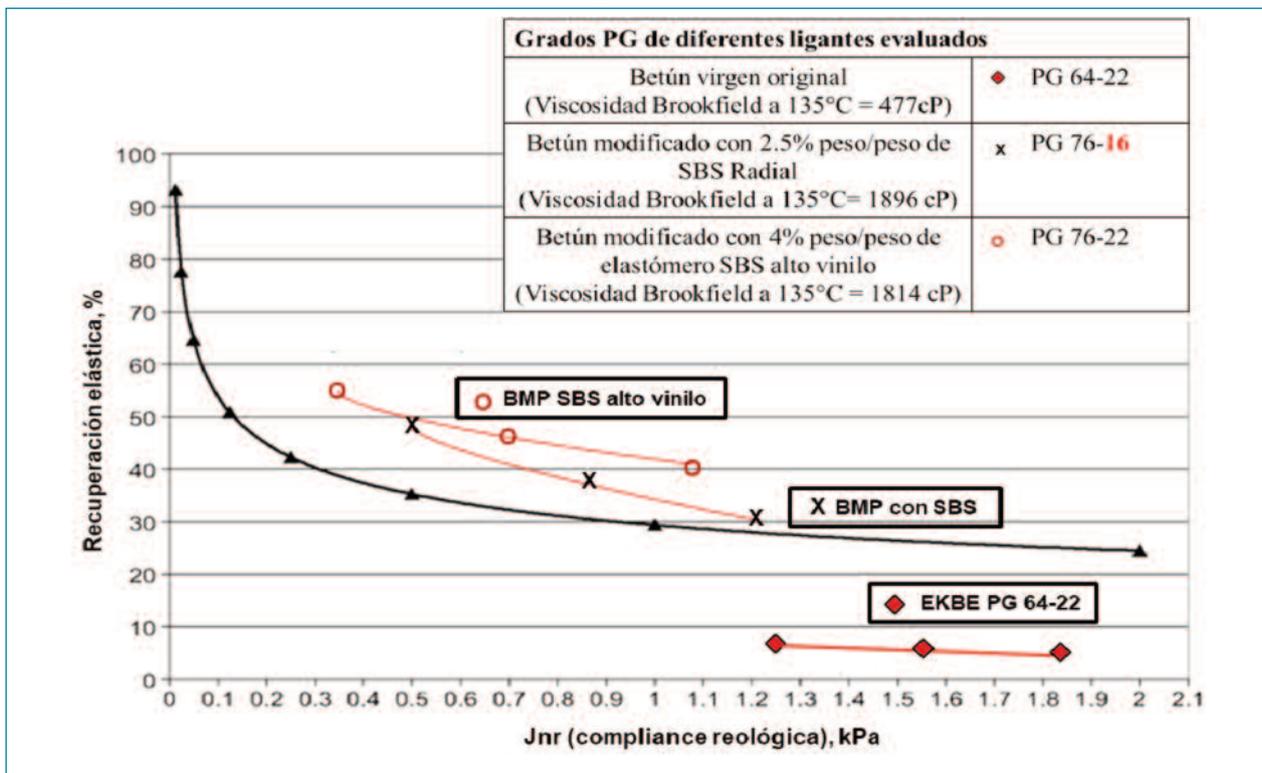


Figura 13. Mejora de la respuesta elástica en el betún altamente modificado con el uso de SBS de alto contenido vinílico.

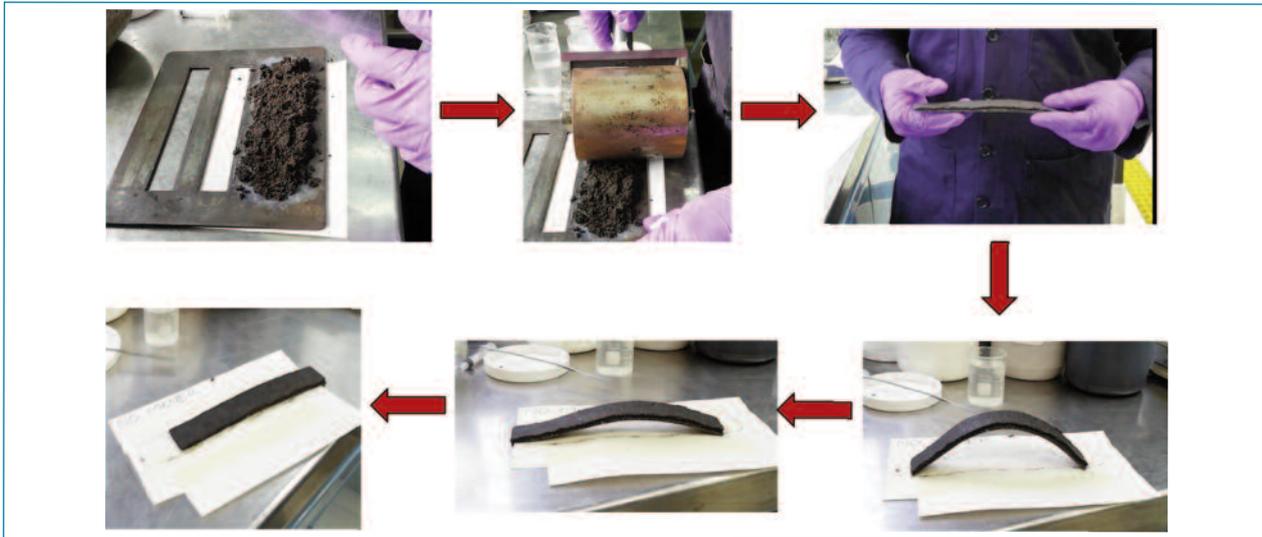


Figura 14. Probetas de slurry seal altamente elásticas con betunes modificados con elastómeros de alto contenido vinílico formulados con emulsiones bituminosas modificadas.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La primera parte de este trabajo presenta datos reológicos que demuestran que los betunes modificados con elastómeros de estireno-butadieno tipo SBS incrementan el reforzamiento cuando se comparan frente al betún virgen. Particularmente, cuando se va incrementando la concentración de polímero, lo anterior se traduce en mayores módulos de corte reológico y menores valores de penetración.

El betún contenido en el RAP es un material envejecido que ha perdido en gran medida los componentes de la fracción aromática y se ha enriquecido de asfaltenos y resinas, esta última fracción posiblemente atribuida a la oxidación con el tiempo. En esta investigación se combinó RAP, agregado pétreo virgen y betún modificado logrando mezclas en caliente con buenas propiedades de resistencia mecánica.

Sin embargo, cuando se formula una mezcla en caliente que incluye RAP y betún modificado con SBS, se deben realizar diseños previos, con una granulometría controlada del RAP y del agregado pétreo, que de acuerdo con lo observado en la figura 7, conforme se incrementa el contenido de RAP en el diseño de la mezcla, se requiere menor contenido de betún modificado para alcanzar la máxima estabilidad. No obstante, parece haber un máximo en el uso de RAP, ya que en esta investigación se observó que por arriba de niveles del 30% peso/peso en la fórmula, el valor máximo de estabilidad Marshall disminuyó.

También se observó que con un máximo de 30% peso/pe-

so de RAP con la granulometría utilizada en este trabajo, se mantuvo la resistencia a la formación de roderas medida por rueda cargada APA, dicha resistencia se mantuvo en niveles comparables al diseño de mezcla en caliente utilizando únicamente betún modificado con polímero, y en ambos casos, mejores resultados comparados con el diseño de mezcla en caliente con betún virgen. No obstante, cuando el contenido de RAP se incrementó a 40% peso/peso, el incremento en formación de rodera fue mayor que el observado con la mezcla formulada con betún virgen, como se mostró en la figura 9.

Una condición necesaria para el uso adecuado de RAP es su control granulométrico, porque de otra forma, los comentarios hechos en los párrafos anteriores no tienen lugar, ya que la resistencia a la formación de roderas alcanza niveles por fuera de la especificación máxima permitida.

Finalmente, los resultados de las curvas de estabilidad Marshall en probetas hechas con dicha prensa, mostraron que se requiere menor contenido de betún modificado para obtener valores superiores de estabilidad Marshall, comparado con las mezclas formuladas con betún virgen. Algo similar se observó en probetas para fatiga dinámica moldeadas con compactador giratorio, con una forma parabólica con concavidad hacia abajo, y valores mayores de ciclos de fatiga en los especímenes formulados con betún modificado, como se observa en las figuras 10 y 11.

Pasando a la segunda parte de este trabajo, nuevos betunes modificados formulados con una nueva generación de elastómeros tipo SBS de alto contenido vinílico fueron formula-

dos, observando que dichos polímeros confieren una resistencia mayor a la formación de roderas frente a betunes modificados con SBS convencionales. Estos nuevos betunes permiten manejar niveles del polímero de más del doble de concentración en los betunes modificados cuando se comparan frente a los SBS convencionales, sin incrementar la viscosidad de forma inoperable.

Las ventajas de estos nuevos materiales es que además de incrementar la resistencia estructural vuelven al betún altamente elástico y flexible. Estas características permiten formular mezclas en caliente de alto módulo, que pueden competir en resistencia estructural frente a pavimentos de concreto hidráulico y a las cuales se les conoce como betunes de alto módulo.

Debido a que estos nuevos SBS de alto vinilo no incrementan sustancialmente la viscosidad es posible utilizarlos en otras aplicaciones como por ejemplo en emulsiones de betún modificado para formular materiales de rehabilitación altamente elásticos, mejorando con ello la recuperación elástica y la durabilidad.

5. CONCLUSIÓN

La búsqueda de alternativas para mejorar las propiedades elásticas y flexibles del betún han llevado al uso de polímeros. En este trabajo se utilizaron dos tipos de polímero de las diferentes familias que se pueden sintetizar en el grupo de elastómeros de estireno-butadieno del tipo SBS. Por un lado, un SBS convencional con contenidos de fracción vinílica en torno al 11% peso/peso, el cual se usó para modificar un betún virgen para mejorar sus propiedades de grado de desempeño PG, el reforzamiento del betún (medido a través del módulo de corte reológico); y también el reforzamiento de la mezcla en caliente formulada con este tipo de betún (medido con pruebas de estabilidad Marshall y deformación permanente con rueda cargada).

No obstante, buscando aplicaciones sustentables, estas mejoras en las propiedades antes mencionadas permiten utilizar materiales reciclados como el RAP; sin embargo, la investigación permitió delimitar algunas condiciones necesarias para que el RAP permita ser utilizado como un agregado que suma al aporte estructural de la mezcla en caliente cuando se combina con el betún modificado, una de estas condiciones es el control adecuado de la granulometría; y por otro lado, la previa determinación de contenido máximo de RAP que brinde los

valores mayores de estabilidad Marshall y de resistencia a la formación de roderas.

La investigación permitió ver que existe un contenido máximo de RAP con un control granulométrico propuesto en base a la recomendación AMAAC, combinado con el betún modificado y el agregado pétreo para dar los valores máximos de reforzamiento estructural de la mezcla en caliente una vez compactada; y que la sinergia de ambos materiales permite lograr resultados sobresalientes cuando se compara frente a probetas formuladas con betún virgen sin RAP.

Por otro lado, este trabajo presenta un segundo caso donde se presentan otro tipo de elastómeros SBS de alto contenido de vinilo (en torno a 40% peso/peso), los cuales brindan propiedades superiores en el betún modificado porque pueden ser concentrados en el betún cuando se comparan contra los SBS de bajo contenido vinilo, manteniendo la viscosidad del betún en niveles procesables.

Lo que se persigue al concentrar el betún con estos nuevos materiales poliméricos es mejorar de forma substancial las propiedades elásticas del betún (como la recuperación elástica) y las propiedades flexibles (cumplimiento de la norma AASHTO M332), para brindar durabilidad a los pavimentos ante la formación de roderas, agrietamiento térmico y que puedan competir en resistencia frente al concreto hidráulico. Diversas investigaciones se han realizado con estos nuevos materiales poliméricos [15], no solo para incrementar el módulo estructural del pavimento sino su durabilidad.

La diversificación de usos de este tipo de betunes formulados con SBS de alto vinilo permite formular emulsiones de betún modificado que pueden ser utilizados en tratamientos de slurry seal para dejar capas de material bituminoso con alta resiliencia, flexible y elástico.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Asphalt Institute & Eurobitume (2015). The asphalt paving industry-a global perspective, Information series No. 230 (3rd. Edition), Lanham Maryland, USA.
- [2] HERNANDEZ, G, Medina, E., Sanchez, R. y Mendoza A. Energy & Fuels, 20 (2006) P. 2623-2626.
- [3] ZHU J., Birgisson, B. and Kringos, N., European polymer journal, 54 (2014). P. 18-38.
- [4] POLACCO, G., Filippi, S., Merusi, F. y Stastna, G., Advances in colloid and interface science, 224 (2015) P. 72-112.

- [5] LU, X., Isacson, U., y Elblad, J., Journal of materials in civil engineering 11-1 (1999). P. 51.
- [6] Federal Highway administration, USA (Abril 2016), Strategies for improving sustainability of asphalt pavements, FHWA-HIF-16-012. Referencia de internet: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/sustainability/hif16012.pdf>
- [7] Miller, T.D., y Bahia, H. Sustainable asphalt pavements: technologies, knowledge gaps and opportunities, MARC, The University of Wisconsin Madison, USA. Febrero 2009. Referencia de internet: <https://uwmarc.wisc.edu/files/MARC-Sustainable-Asphalt-Pavements-white-paper.pdf>
- [8] ATTOH-OKINE, N, Martey, E., Alsahli, A. y Bouce, T., Asphalt rheology and strengthening through polymer binders, University of Delaware, USA, Noviembre 2016. Referencia de internet: https://www.researchgate.net/publication/324128460_Asphalt_Rheology_and_Strengthening_Through_Polymer_Binders
- [9] Sungho K., Byron T., Sholar, G. and Kim. J, Performance of Polymer-modified asphalt mixture with reclaimed asphalt pavement, Transportation research record of the transportation research board, 2126 (2009). P. 109-114
- [10] Torbjorn, J., Wenche, H., y Rabbira, G., Quality assessment of polymer modified bitumen-performance related test methods and field performance, presentación en el sexto congreso Euroasphalt & Eurobitume congress, Junio 2016, Praga, Checoslovaquia.
- [11] Publicación de recomendación de uso de material reciclado RAP publicado por la Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC). REA-15/2012, 1ra. Edición. México.
- [12] Hussein H.K., Hasan, H. J. y Haneen K. Y., Effect of modify asphalt with SBS polymer on mechanical properties of recycled pavement mixture, Global Journal of Engineering Science and research management, 39 (Julio 2018).
- [13] ASTM D2172/2172M-17, Standard test method for quantitative extraction of asphalt binder from asphalt mixtures. Volume 4.03
- [14] AASHTO M332, Specification for performance grade asphalt binder using multiple stress creep recovery (MSCR) test, USA, 2014.
- [15] Blazejowski, C., Wisniewska M., Peciakowski H. y Olszacki J., "The performance of highly modified binders for heavy duty asphalt pavements", Transportation Research Procedia, 14 (2016). 679-684.