

Contrastación entre el asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada empleando dos métodos de mezclado

Ana Sofía Figueroa Infante* / Elsa Beatriz Fonseca Santanilla** /
Claudia Paola Amaya*** / Martha Rocío Prieto Camelo***

RESUMEN

Esta investigación presenta una comparación entre el asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada empleando dos métodos diferentes de mezclado: manual y dispersor de asfalto. En este trabajo se utilizó asfalto blando de penetración 80/100, producido en la planta de ECOPETROL en Barrancabermeja se emplearon como modificadores dos residuos de polímeros no biodegradables: el grano de caucho reciclado (GCR) y el icopor. Los cuales fueron adicionados en diferentes proporciones para así poder encontrar el porcentaje óptimo para mejorar la respuesta mecánica del asfalto en la mezcla. La modificación en el dispersor permitió el control de la velocidad de mezclado y la temperatura de trabajo, la cual fue 180° C y 210° C. Las mezclas ligante-modificador polimérico obtenidas con el dispersor de asfaltos presentan una mayor homogeneidad en comparación con las mezclas manuales desde el punto de vista físico-mecánico.

Palabras clave: dispersor de asfaltos, asfalto modificado, poliestireno, llanta triturada, copolímero SBS-SBR, pavimentos.

COMPARISON BETWEEN ASPHALT MODIFIED WITH POLYSTYRENE AND CRUSHED TIRES USING TWO MIXING METHODS

ABSTRACT

This research presents a comparison between asphalt modified with polystyrene and crushed tires by using two different methods: manual and the asphalt disperser. In this study soft asphalt with penetration of 80/100 produced at ECOPETROL in Barrancabermeja, Colombia was used; and as modifiers two no biodegradable polymer residues were used: the grain of recycled rubber and icopor which were added in different proportions in order to find the optimal percentage to improve the mechanical response of asphalt in the mixture. Modification in disperser allowed controlling the mixture speed and work temperature between 180°C and 210°C. Mixtures binding-modifying polymer obtained with asphalt disperser have a higher homogeneity compared to the manual mixtures from the physical and mechanical point of view.

Key words: asphalt disperser, modified asphalt, polystyrene, crushed tire, copolymer SBS-SBR, pavement.

* Profesora. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de La Salle. Correo electrónico: afigueroa@lasalle.edu.co

** Profesora. Departamento de Ciencias Básicas, Universidad de La Salle. Correo electrónico: elfonseca@lasalle.edu.co

*** Estudiantes facultad de Ingeniería Civil, Universidad de La Salle,

Correo electrónico: paoamaya1207@hotmail.com y marpricam_82@hotmail.com

Fecha de recepción: 21 de enero de 2008.

Fecha de aceptación: 5 de febrero de 2008.

INTRODUCCIÓN

La modificación de asfalto es una técnica que se emplea con el fin de disminuir fisuras y hundimientos en la capa de rodadura. Un tipo de modificación consiste en adicionar a los asfaltos convencionales; polímeros industriales y polímeros como producto de desechos no biodegradables. Estos polímeros mejoran el comportamiento del asfalto a altas y bajas temperaturas. La elección adecuada del asfalto, el tipo y la concentración del polímero, determina la formación de una red polimérica que influye significativamente en la recuperación elástica y el desempeño del pavimento asfáltico a temperaturas elevadas (comportamiento reológico opuesto al de un fluido newtoniano).

Los modificadores producen una actividad iónica superficial que incrementa la adherencia de la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándolo aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y, por lo tanto, a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Los modificadores se aplican, por lo general, directamente al ligante asfáltico antes de mezclarlo con el material pétreo. Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y otra por asfalto. Cuando la proporción de polímero es baja, se genera una matriz continua de ligante en el que se dispersa el polímero. A medida que la cantidad de polímero aumenta, se pueden llegar a invertir las fases. La morfología y las interacciones moleculares entre el polímero y el ligante causan el cambio en las propiedades del asfalto.

La metodología empleada incluyó la preparación de una serie de mezclas ligante-modificador polimérico con diferentes porcentajes de modificador, emplean-

do un dispersor asfáltico para su homogenización. Posteriormente, se realizó la caracterización fisicoquímica de las mezclas preparadas por medio de métodos de análisis estándar de laboratorio y se compararon con las características de mezclas realizadas en forma manual y con la normatividad vigente para capas de rodadura.

El principal objetivo de este trabajo es modificar con icopor y caucho reciclado de llantas de automóviles, uno de los asfaltos más usados en Colombia; el proveniente de la refinería de Barrancabermeja en Santander, con el fin de mejorar su desempeño. Al mismo tiempo que se reduce la cantidad de ligante que compone la capa de rodadura empleando estos polímeros que se generan a gran escala, y que son poco reutilizados y son no biodegradables.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada incluyó la preparación de una serie de mezclas ligante-modificador polimérico con diferentes porcentajes de modificador, empleando un dispersor asfáltico para su homogenización. Posteriormente, se realizó la caracterización fisicoquímica de las mezclas preparadas por medio de métodos de análisis estándar de laboratorio y se compararon con las características de las mismas mezclas realizadas en forma manual y con la normatividad vigente para capas de rodadura.

Los principales equipos y materiales empleados fueron:

- Penetrómetro
- Ductilímetro
- Equipo de anillo y bola para punto de ablandamiento
- Copa abierta de Cleveland
- Picnómetro
- Horno envejecimiento en película fina y rotatoria (Rolling Thin Film Oven Test)

- Viscosímetro Brookfield
- Asfalto CIB 80/100

Dispensor de asfaltos. Dispensor de polímeros de laboratorio para asfaltos modelo D-25 de 0,5 litros de volumen nominal. Éste equipo fue diseñado para producir asfaltos modificados con polímeros, ya que emulsiona, dispersa, homogeniza productos líquidos, semilíquidos y viscosos, rompe mecánicamente moléculas de gran tamaño y disuelve grumos (Figura 1).



Poliestireno. Polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. En estos polímeros las fuerzas intermoleculares son muy débiles y al calentar las cadenas pueden moverse unas con relación a otras y el polímero puede moldearse. Este tipo de polímeros se caracteriza por su elasticidad, baja densidad, transparencia, brillo, baja conductividad eléctrica, es decir, es un aislante y buena resistencia mecánica, térmica y eléctrica Reyes et al., 2006 (Figueroa y et al., 2007 a, 2007b).

Llanta triturada. Modificador de ligante asfáltico, que al estar bien dosificado mejora la resistencia al fisuramiento por fatiga y evita el ahuellamiento del pavimento a elevadas temperaturas, disminuyendo los costos por mantenimiento y aumentando la vida útil del mismo. Además reduce el envejecimiento por oxidación del ligante, disminuye el ruido ocasionado por el tráfico al tener contacto con el pavimento, mejora el agarre de los neumáticos de los vehículos al pavimento y ayuda a la preservación del medio ambiente (Agnusdei, 1997).

MODIFICACIÓN DEL ASFALTO

Inicialmente, se realizó la preparación de los materiales pesados en diferentes recipientes de acuerdo a cada uno de los porcentajes escogidos para esta investigación: 1% de icopor (variable fija) y 0, 12, 14, 16, 18 y 20% de caucho de llanta triturada.

El proceso de modificación del ligante asfáltico comenzó con el calentamiento del asfalto convencional a una temperatura de 130°C, del cual se colocaron 1000 gramos en un recipiente que luego fue introducido en el Dispensor de Asfaltos; equipo usado para homogenizar asfaltos modificados a temperaturas entre 180°C y 210°C. Posteriormente, se calentó el cemento asfáltico a 135°C en el aparato de mezclado para así poder adicionar el poliestireno, inmediatamente se introdujo el aspa para así dar inicio a la homogenización, se elevó la temperatura a 180°C y se incorporó la llanta triturada, mezclando durante 30 minutos a una velocidad de 2400 rpm (el caucho requiere un rango de temperatura de 180°C a 200°C para su mezclado). En la Figura 2 se presenta el proceso de modificación realizado.

FIGURA 2. PROCESO DE MODIFICACIÓN



RESULTADOS

DUCTILIDAD

Para el ligante asfáltico original, los resultados obtenidos fueron valores superiores a 150 cm, (máxima lectura que se puede leer en el ductilímetro). Para la muestra modificada con 1% de poliestireno el valor que se registro fue constante junto con el conven-

cional, es decir, 150 cm lo cual permite considerar que estos materiales son dúctiles. Al realizar la modificación tanto con llanta triturada como con poliestireno, los valores obtenidos van incrementando a medida que el porcentaje de llanta, aunque para el modificador de 16% de llanta triturada y 1% de poliestireno el resultado arrojado es mayor que para las otras modificaciones, éste es el que marca el máximo valor de ductilidad con respecto a los otros modificadores (Tabla 1).

TABLA 1. VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA DUCTILIDAD DEL ASFALTO MODIFICADO RESPECTO AL ASFALTO CONVENCIONAL

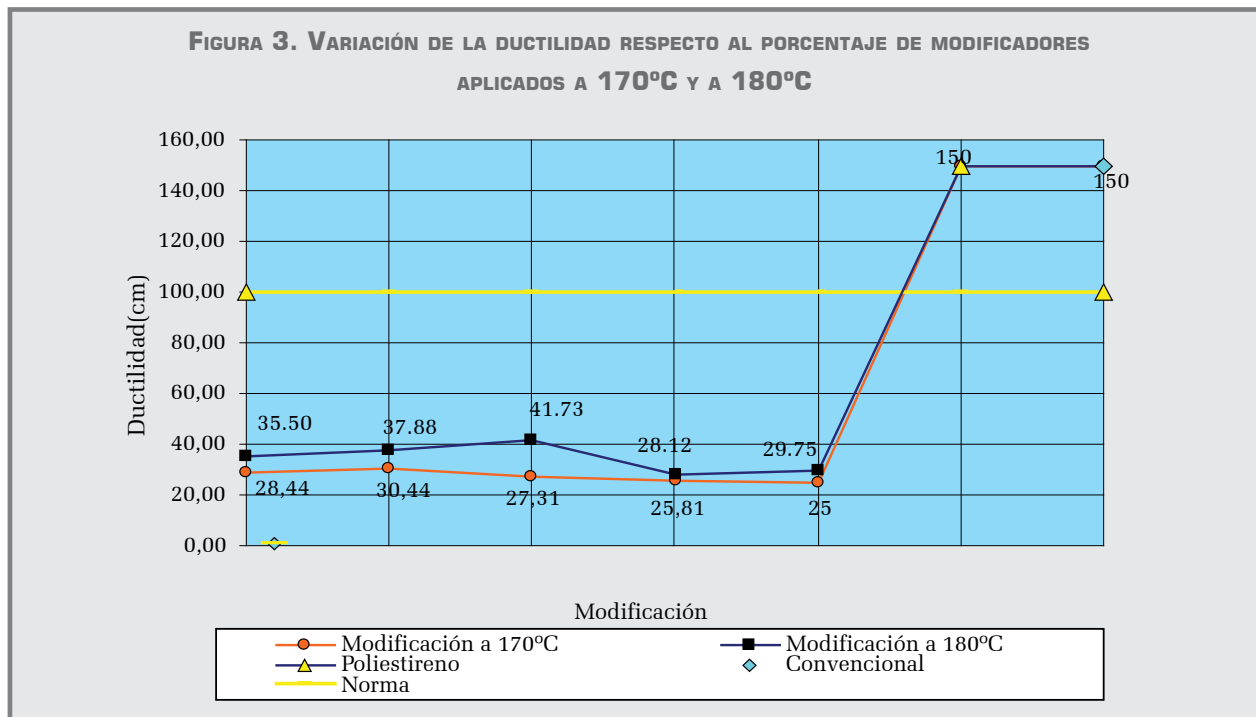
ASFALTO CONVENCIONAL >150				
% de Modificadores	Modificación a 170°C		Modificación a 180°C	
	Resultado	Variación	Resultado	Variación
1% poliestireno	150	0,00%	150,00	0,00%
1% poliestireno + 12% llanta triturada	28,44	-81,04%	35,50	-76,33%
1% poliestireno + 14% llanta triturada	30,44	-79,71%	41,73	-72,18%
1% poliestireno + 16% llanta triturada	27,31	-81,79%	29,37	-80,42%
1% poliestireno + 18% llanta triturada	25,81	-82,79%	28,12	-81,25%
1% poliestireno + 20% llanta triturada	25,00	-83,33%	29,75	-80,17%

Fuente: Amaya y Prieto, 2007.

Para la variación de ductilidad respecto a la temperatura, se evidenció que el valor de ductilidad se incrementa en la modificación de la temperatura, en este caso a 180°C, puesto que los registros presentan variaciones ascendentes que superan los resultados obtenidos en la modificación a 170°C, esto se debe a que para esta modificación se utilizó el dispersor de asfaltos, el cual permitió una mejor homogenización por el control en tiempo y temperatura, aspectos que no se pueden mantener constantes a través del método manual.

Para el asfalto modificado a 170°C con 14% de llanta triturada y 1% de poliestireno, la ductilidad obtenida

superó las demás modificaciones, mientras que para el asfalto modificado a 180°C, la ductilidad máxima se encuentra en el 16% de llanta triturada y 1% poliestireno, por lo cual se considera que a mayor temperatura se presenta un mejor mezclado entre el asfalto convencional y los modificadores. Según los resultados obtenidos en los ensayos de ductilidad, el asfalto modificado no cumple con la norma ASTM D113, ya que el mínimo valor de ductilidad es 100 cm, al ser un material modificado, éste presenta un mayor grado de adherencia y menor susceptibilidad térmica. En la Figura 3 se presenta la variación de la ductilidad con el porcentaje de modificadores poliméricos adicionados.



Fuente: Amaya y Prieto, 2007.

PENETRACIÓN

En cuanto a las muestras de asfalto modificado tanto a 170°C como a 180°C, el descenso de la penetración se acentúa en la mezcla de menor temperatura, presentándose así reducciones en un rango de 4 a 6 décimas de mm entre una y otra temperatura respecto a cada

uno de los modificadores y al asfalto convencional; es por ello que con la modificación a mayor temperatura se logró una mejor homogenización del material y esto se debe a que el método por el cual se realizó el proceso de mezclado es más eficaz pues éste se efectuó a través del dispersor de asfaltos (Tabla 2).

TABLA 2. VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA PENETRACIÓN DEL ASFALTO MODIFICADO A 170°C Y A 180°C RESPECTO AL ASFALTO CONVENCIONAL

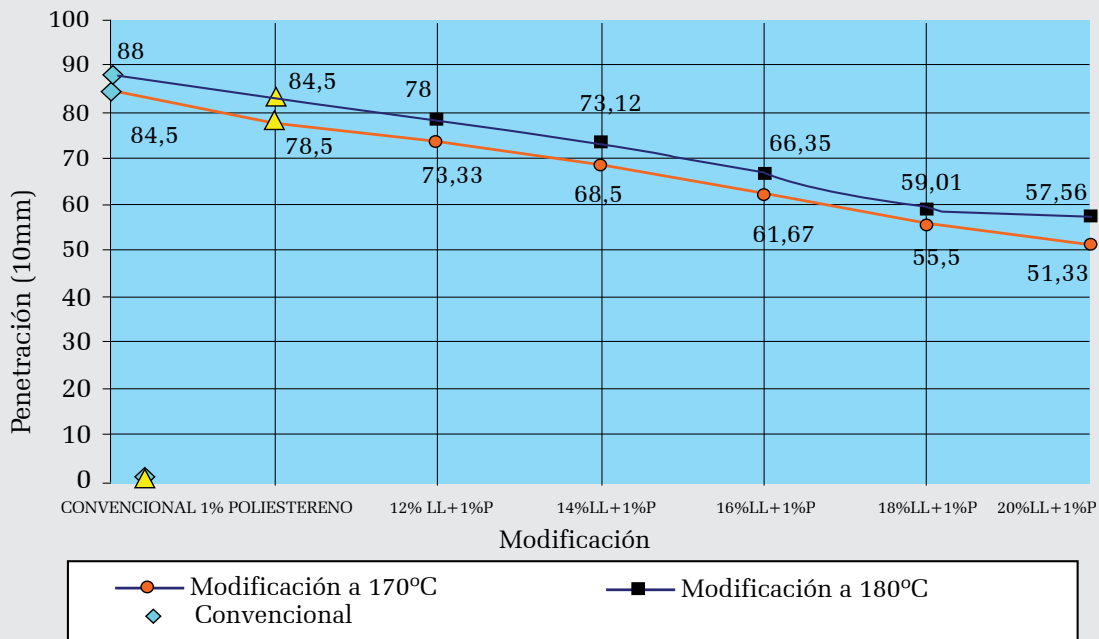
ASFALTO CONVENCIONAL MODIFICACIÓN A 170°C = 84,5 MODIFICACIÓN A 180°C = 88				
% de Modificadores	Modificación a 170°C		Modificación a 180°C	
	Resultado	Variación	Resultado	Variación
1% poliestireno	78,50	-7,10%	83	-5,68%
1% poliestireno + 12% llanta triturada	73,33	-13,22%	78	-11,36%
1% poliestireno + 14% llanta triturada	68,50	-18,93%	73,12	-16,91%
1% poliestireno + 16% llanta triturada	61,67	-27,02%	66,35	-24,60%
1% poliestireno + 18% llanta triturada	55,50	-34,32%	59,01	-32,94%
1% poliestireno + 20% llanta triturada	51,33	-34,61%	57,56	-34,59%

Fuente: Amaya y Prieto 2007.

A partir de los resultados obtenidos para la modificación con 1% de poliestireno, es evidente que las muestras a 170°C no alcanzan a superar las 80 décimas de mm, valor que sí se registra mayor en la modificación a 180°C, y en el asfalto convencional,

lo cual permite que se le considere como un asfalto de penetración 80 -100 y como un material ideal para los trabajos de pavimentación, pues no sólo presenta propiedades impermeabilizantes sino que posee características de flexibilidad y durabilidad (Figura 4).

FIGURA 4. VARIACIÓN DE LA PENETRACIÓN RESPECTO AL PORCENTAJE DE MODIFICADORES APLICADOS A 180°C Y A 170°C



Fuente: Amaya y Prieto, 2007.

PESO ESPECÍFICO

En cuanto a las diferencias en los resultados obtenidos de peso específico y teniendo en cuenta la variación de temperatura a la cual se realizó cada uno de los procesos de modificación, se evidenció un incremento en los valores registrados tanto para la temperatura de 170°C como para la de 180°C, aunque para la muestra modificada a mayor temperatura este ascenso fue más evidente. En primer lugar, el ligante con incorporación de poliestireno y llanta triturada a 180°C registró variaciones ascendentes en todas las modificaciones respecto a los valores obtenidos en las pruebas a 170°C, con una mayor incidencia en la

muestra con 20% de llanta triturada y 1% de poliestireno; mientras que en la modificación con 12% de llanta triturada y 1% de poliestireno el valor de peso específico se mantiene constante tanto para la modificación a 170°C como para la de 180°C, este valor se registró como 1.008 gr/cm³. A mayor temperatura se logró un mejor proceso de mezclado y esto se debió a que con la utilización del dispersor de asfaltos se facilita mucho más la homogenización del material ya que con este equipo se puede dispersar cada una de las partículas que contiene tanto el poliestireno como la llanta triturada, puesto que este tiene un mecanismo de control que permite que haya una mejor dilución del material y puede llegar a reemplazar el método manual (Tabla 3).

TABLA 3. VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO MODIFICADO A 170°C Y A 180°C RESPECTO AL ASFALTO CONVENCIONAL

ASFALTO CONVENCIONAL Peso Específico a 170°C = 1,006gr/cm Peso Específico a 180°C = 1,009gr/cm				
% de Modificadores	Modificación a 170°C		Modificación a 180°C	
	Resultado	Variación	Resultado	Variación
1%poliestireno	0,959	-4,67%	0,973	-3,57%
1%poliestireno+12%llanta triturada	1,008	0,20%	1,008	-0,09%
1%poliestireno+14%llanta triturada	1,012	0,60%	1,016	0,69%
1%poliestireno+16%llanta triturada	1,015	0,89%	1,020	1,09%
1%poliestireno+18%llanta triturada	1,019	1,29%	1,025	1,58%
1%poliestireno+20%llanta triturada	1,022	1,59%	1,044	3,47%

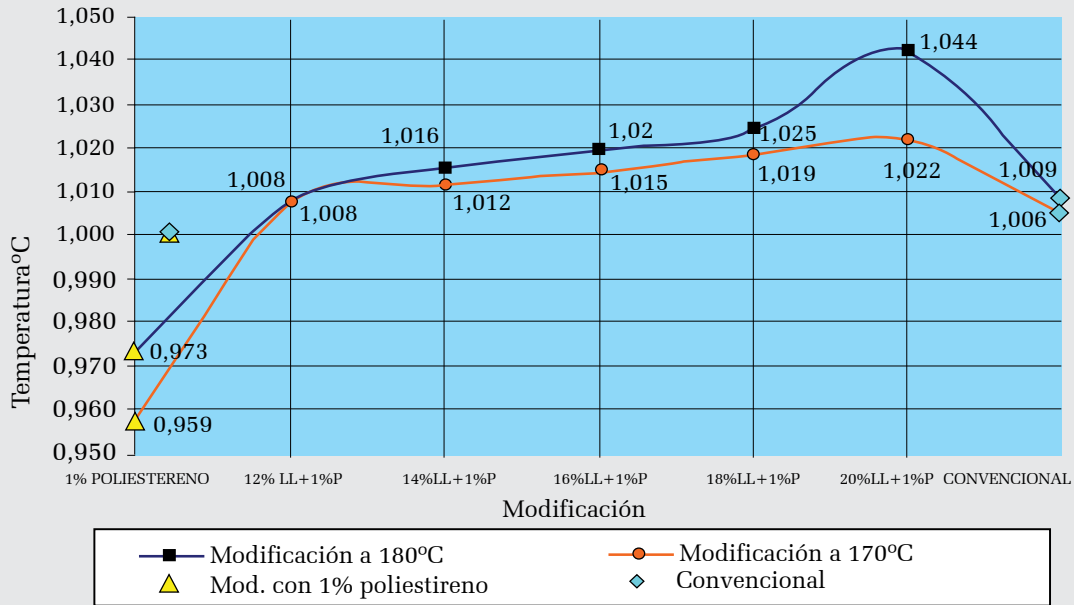
Fuente: Amaya y Prieto, 2007.

PUNTO DE IGNICIÓN

El punto de ignición para el asfalto modificado a 180°C presenta un aumento con respecto al asfalto modificado a 170°C, ya que la mezcla es más uniforme que la modificada a 170°C, la cual fue homogenizada manualmente y no mantuvo una temperatura constante deseada.

Los puntos de ignición del ligante modificado con 1% de poliestireno son el máximo punto de ignición tanto para el modificado a 170°C como para el modificado a 180°C, para la modificación hecha con 1% de poliestireno y 16% de llanta triturada a 170°C y a 180°C, el punto de ignición es igual siendo de 288°C (Tabla 4 y Figura 6).

FIGURA 5. VARIACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO RESPECTO AL PORCENTAJE DE MODIFICADORES APLICADOS A 180°C Y A 170°C

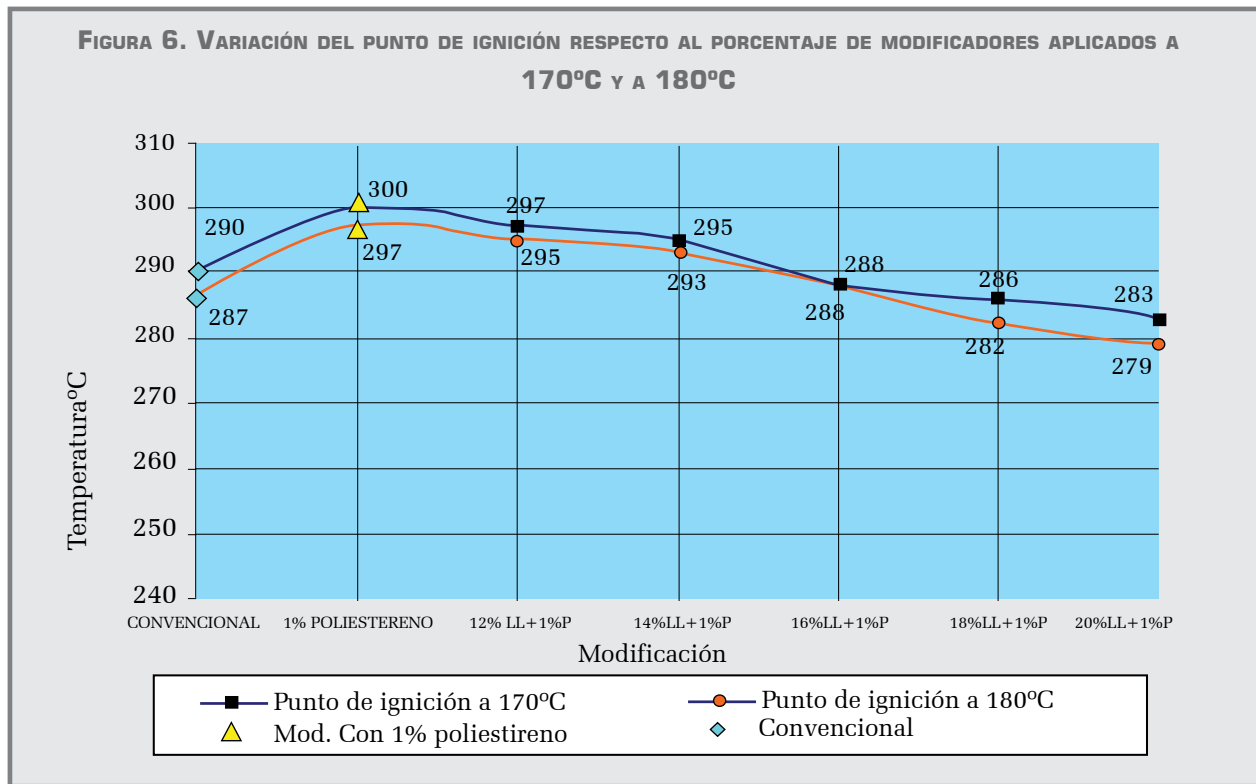


Fuente: Amaya y Prieto, 2007.

TABLA 4. VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PUNTO DE IGNICIÓN Y LLAMA ASFALTO MODIFICADO A 170°C Y A 180°C RESPECTO AL ASFALTO CONVENCIONAL

ASFALTO CONVENCIONAL PUNTO DE IGNICIÓN=290 Y PUNTO DE LLAMA=330				
% de Modificadores	PUNTO DE IGNICIÓN		PUNTO DE LLAMA	
	Resultado	Variación	Resultado	Variación
1% poliestireno	300	3,45%	325	-1,52%
1%poliestireno+12%llanta triturada	297	2,41%	320	-3,03%
1%poliestireno+14%llanta triturada	295	1,72%	317	-3,94%
1%poliestireno+16%llanta triturada	288	-0,69%	313	-5,15%
1%poliestireno+18%llanta triturada	286	-1,38%	310	-6,06%
1%poliestireno+20%llanta triturada	283	-2,41%	306	-7,27%

Fuente: Amaya y Prieto, 2007



Fuente: Amaya y Prieto, 2007.

PUNTO DE ABLANDAMIENTO

El ligante asfáltico modificado a 180°C presenta un punto de ablandamiento superior al ligante modificado a 170°C, debido a que por medio de la estabilidad de temperatura del dispersor de asfaltos, la mezcla quedó mejor diluida que la modificada por el método manual.

El punto de ablandamiento obtenido para el ligante modificado con 1% de poliestireno y el modificado

con 1% de poliestireno más cada uno de los porcentajes de llanta triturada presenta una menor susceptibilidad térmica porque el punto de ablandamiento incrementa para estas modificaciones.

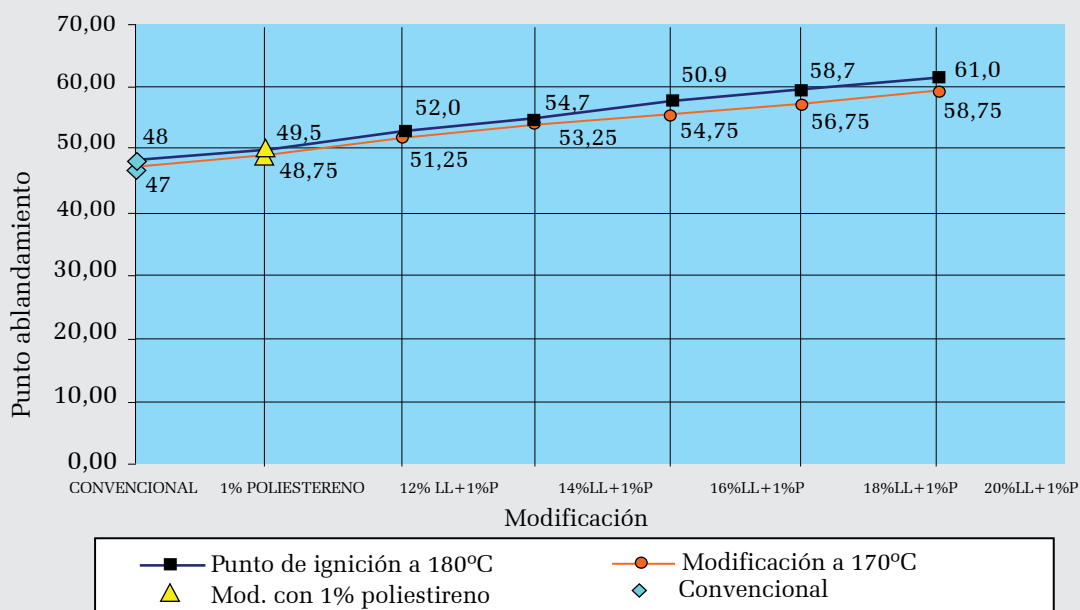
Cada vez que aumenta el porcentaje de material modificador la mezcla se hace más rígida, esto hace que debido al calor el asfalto modificado se ablanda a una temperatura cada vez más alta (ver Tabla 5 y Figura 7).

TABLA 5. VARIACIÓN PORCENTUAL DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO DEL ASFALTO MODIFICADO A 170°C Y A 180°C RESPECTO AL ASFALTO CONVENCIONAL

ASFALTO CONVENCIONAL MOD. 170°C = 47 MOD.180°C = 48				
% de Modificadores	Modificación a 170°C		Modificación a 180°C	
	Resultado	Variación	Resultado	Variación
1% poliestireno	48,75	3,72%	49,5	3,13%
1%poliestireno+12%llanta triturada	51,25	9,04%	52,0	8,33%
1%poliestireno+14%llanta triturada	53,25	13,30%	54,7	13,96%
1%poliestireno+16%llanta triturada	54,75	16,49%	56,9	18,54%
1%poliestireno+18%llanta triturada	56,75	20,74%	58,7	22,30%
1%poliestireno+20%llanta triturada	58,75	25,00%	61,0	27,08%

Fuente: Amaya y Prieto, 2007.

FIGURA 7 .VARIACIÓN DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO RESPECTO AL PORCENTAJE DE MODIFICADORES APLICADOS A 170°C Y A 180°C



Fuente: Amaya y Prieto, 2007.

VISCOSIDAD ROTACIONAL

En cuanto a la modificación tanto a 170°C como a 180°C, es evidente que en las dos temperaturas se presentó la misma tendencia de aumento, arrojando resultados que permiten demostrar la influencia que tienen los modificadores en la viscosidad, brindando así tanto el icopor como la goma de caucho

reciclada al cemento asfáltico una mayor resistencia a la deformación.

Las viscosidades de Brookfield de los asfaltos modificados con icopor y con llanta triturada son mucho más altas que las del cemento asfáltico convencional, éstas se fueron aumentando a medida que al ligante se le fue incorporando mayor porcentaje de

llanta triturada; esto fue causado porque esta clase de polímeros cambian las propiedades del material original, no sólo por la adición de estos modificadores sino también por sus altas temperaturas.

El porcentaje óptimo establecido durante todo este proceso de investigación fue de 18% de llanta tritu-

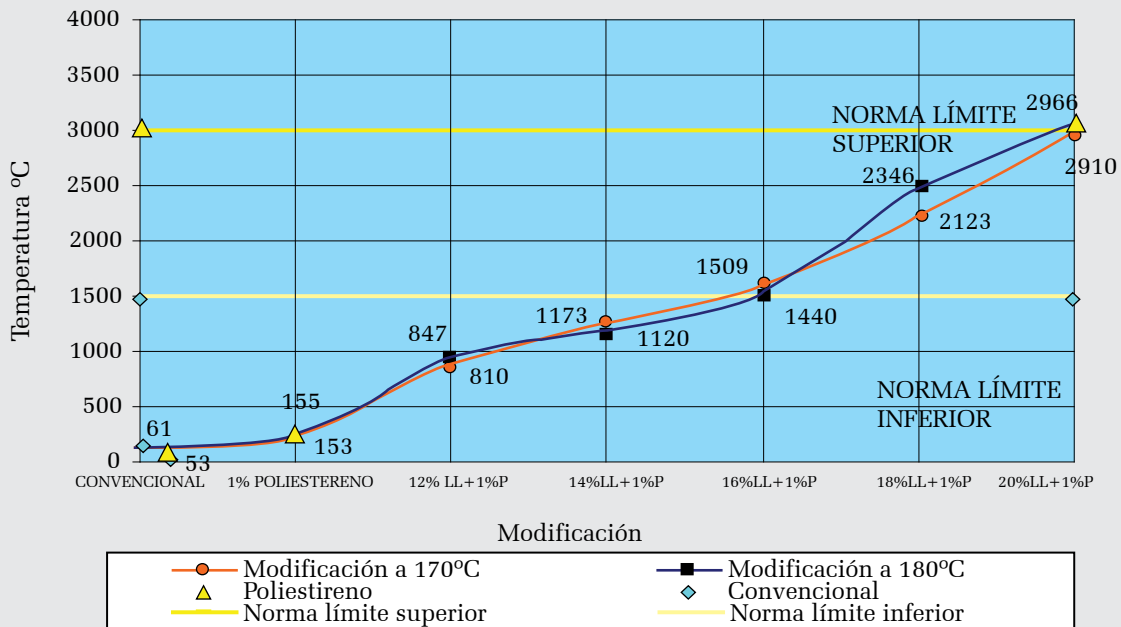
rada y 1% de poliestireno, valor que cumple con el rango de normatividad, el cual debe estar entre 1500 centipoises (cP) y 3000 centipoises (cP) a una temperatura de 163°C, estos registros se deben tener en cuenta para las viscosidades ideales las cuales permitieron establecer cual fue la modificación adecuada (Tabla 6 y Figura 8).

TABLA 6. VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA VISCOSIDAD DE BROOKFIELD DEL ASFALTO MODIFICADO A 170°C Y A 180°C RESPECTO AL ASFALTO CONVENCIONAL

ASFALTO CONVENCIONAL Viscosidad a 170°C = 53cp Viscosidad a 180°C = 61cp				
% de Modificadores	Modificación a 170°C		Modificación a 180°C	
	Resultado	Variación	Resultado	Variación
1%poliestireno	153	188,68%	155	154,10%
1%poliestireno+12%llanta triturada	810	1428,30%	847	1288,52%
1%poliestireno+14%llanta triturada	1173	2113,21%	1120	1736,07%
1%poliestireno+16%llanta triturada	1509	2747,17%	1440	2260,66%
1%poliestireno+18%llanta triturada	2123	3905,66%	2346	3745,90%
1%poliestireno+20%llanta triturada	2916	5401,89%	2966	4762,30%

Fuente: Amaya y Prieto, 2007.

FIGURA 8. VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD DE BROOKFIELD RESPECTO AL PORCENTAJE DE MODIFICADORES APLICADOS A 180°C Y A 170°C



Fuente: Amaya y Prieto, 2007

CONCLUSIONES

Al realizar el proceso de modificación tanto a 170°C como a 180°C, se encontró que el mejor proceso de mezclado se presentó en la temperatura de 180°C ya que fue en ésta donde hubo una mejor incorporación de la llanta triturada, es decir, el grano de caucho reciclado y el poliestireno, logrando así una mayor homogenización en el ligante asfáltico modificado.

Los resultados obtenidos tanto de los ensayos manuales como empleando el dispersor de asfaltos, demuestran que éste último elemento permite un mejor proceso de mezclado ya que con éste se logró una mejor incorporación de los modificadores, especialmente de la llanta, material que presenta un alto grado de dificultad para ser mezclada. Además, con la utilización de este equipo es fácil controlar la velocidad de mezclado y mantener constante la temperatura constante que no pueden ser inspeccionadas manualmente.

Con la realización de los ensayos de penetración para el cemento asfáltico convencional, éste se pudo clasificar como un asfalto de penetración 80/100, el cual dentro de una mezcla asfáltica otorga a ésta una baja tendencia al fisuramiento pero una alta probabilidad de ahuellamiento.

Se encontró que el porcentaje óptimo de modificadores debe tener un contenido igual o superior a 18% de llanta triturada y 1% de poliestireno, valor que se obtuvo de acuerdo a los parámetros de viscosidad

Brookfield, el cual establece que el rango debe estar entre 1500cp y 3000cp para una modificación ideal.

Tanto la muestra modificada con poliestireno y llanta triturada a 180°C como la modificada a 170°C se pueden considerar como materiales no dúctiles, debido a que no cumplieron con los valores mínimos establecidos para la aprobación de dicho material.

La viscosidad de Brookfield del asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada a 180°C es mayor con respecto a la modificación a 170°C, esto se debió a que las propiedades del material cambian pues su temperatura aumenta, por esto se demostró que los modificadores, brindan al ligante una mayor resistencia a la deformación, por lo tanto mezclas asfálticas con este tipo de ligante modificado podría presentar menor ahuellamiento.

El cemento asfáltico modificado con poliestireno y llanta triturada a 180°C, registró mayores temperaturas de punto de ablandamiento con respecto a la modificación a 170°C, esto quiere decir que el ligante presentó mayor fluidez y se presentó más blando y viscoso.

AGRADECIMIENTOS

A la renovadora de llantas RENOBODY LTDA, especialmente al ingeniero Eduardo Ulloa, al ingeniero Juan Carlos Salazar de la planta de agregados PATRIA S.A., a los grupos de laboratorio de la Universidad de La Salle y de la Pontificia Universidad Javeriana.

BIBLIOGRAFÍA

- Agnusdei, J. "Asfaltos modificados y sus aplicaciones". *Ingeniería de pavimentos*. Colombia: 1997.
- Amaya, P. y Prieto, M. Contrastación de la modificación de asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada entre el dispersor de asfalto y el método manual. Trabajo de grado. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá, 2007.
- Arenas, H. *Tecnología del cemento asfáltico. Fundación para Actividades de Investigación y Desarrollo*. Cali, 2000.
- Figuroa, A., Sánchez, A. y Reyes, F. "Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada". *Revista Épsilon* 9. (2007): 41-55.
- ., González, L. y otros. "Mejoramiento de granulados de desecho de la cantera Vista Hermosa con emulsiones asfálticas modificadas". *Revista Épsilon* 6 (2006).
- Figuroa, A., F. Reyes, D. Hernández y otros. "Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla densa en caliente". *Revista Ingeniería e Investigación* 27. 3. (2007): 5-15.
- Instituto Nacional de Vías. *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Santafé de Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998.
- . *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Santafé de Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998.
- Reyes, F., Figuroa, A. y Rodríguez, K. "El icopor y el caucho como modificadores de mezclas drenantes". *Revista Épsilon* 7. (2006): 30-40.