

Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada

Ana Sofía Figueroa Infante* / Arnulfo Sánchez Castillo**
Fredy Alberto Reyes Lizcano***

RESUMEN

Esta investigación presenta el análisis experimental de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada. La importancia de este trabajo tiene que ver con la incorporación de materiales de desecho no biodegradables, que generan un alto grado de contaminación ambiental, en materiales asfálticos utilizados para la infraestructura vial. En esta fase de la investigación se trabajó con un asfalto blando, penetración 80-100, producido en la planta de Ecopetrol en Barrancabermeja, Colombia. Se emplearon dos modificadores: icopor y llanta triturada, como producto de los residuos industriales. La modificación se realizó por vía húmeda para lograr una mejor integración de la mezcla. En este estudio se caracterizó el asfalto convencional y los modificadores, posteriormente se analizaron las propiedades físicas del asfalto modificado y finalmente se compararon los resultados del asfalto convencional con el modificado.

Los resultados obtenidos fueron interesantes en la medida que se determinó la proporción óptima de los modificadores empleados para mejorar la respuesta mecánica del asfalto en la mezcla y realizar el análisis químico en una segunda fase de la investigación.

Palabras clave: asfalto, asfalto modificado, poliestireno, llanta triturada.

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

** Constructora Colpatria. Correo electrónico: asc831209@hotmail.com

***Profesor de la Facultad Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: fredy.reyes@javeriana.edu.co

Fecha de envío: 24 de julio de 2007.

Fecha de aceptación: 22 de agosto de 2007.

PHYSICAL CHARACTERIZATION OF MODIFIED ASPHALT WITH POLYSTYRENE AND CRUSHED TIRE

ABSTRACT

This research presents the experimental analysis of modified asphalt with polystyrene and crushed tires. The importance of this work is the incorporation of non biodegradable waste materials, which generate a high degree of environmental pollution, in asphalted materials used for the roads infrastructure. Soft asphalt, penetration 80-100, produced in the Ecopetrol plant in Barrancabermeja, Colombia was used in this phase of the research. Two modifiers were used: polystyrene and crushed tires, as product of the industrial residuals. The modification was carried out for humid way to achieve a better integration of the modifiers in the mixture. In this study the conventional asphalt and the modifiers were characterized, later the physical properties of the modified asphalt were analyzed and finally the results of the conventional asphalt were contrasted with the modified asphalt.

The obtained results were interesting because they determined the optimal proportion of the modifiers to improve the mechanical response of the asphalt in the mixture and to carry out the chemical analysis in a second phase of the research.

Key words: asphalt, modifier asphalt, polystyrene, crushed tires.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la infraestructura vial en Colombia muestra la necesidad de adelantar trabajos de investigación en busca de nuevos materiales o de mejorar la calidad de los existentes y así optimizar el funcionamiento de las carreteras, ofreciendo soluciones a la problemática de las mismas.

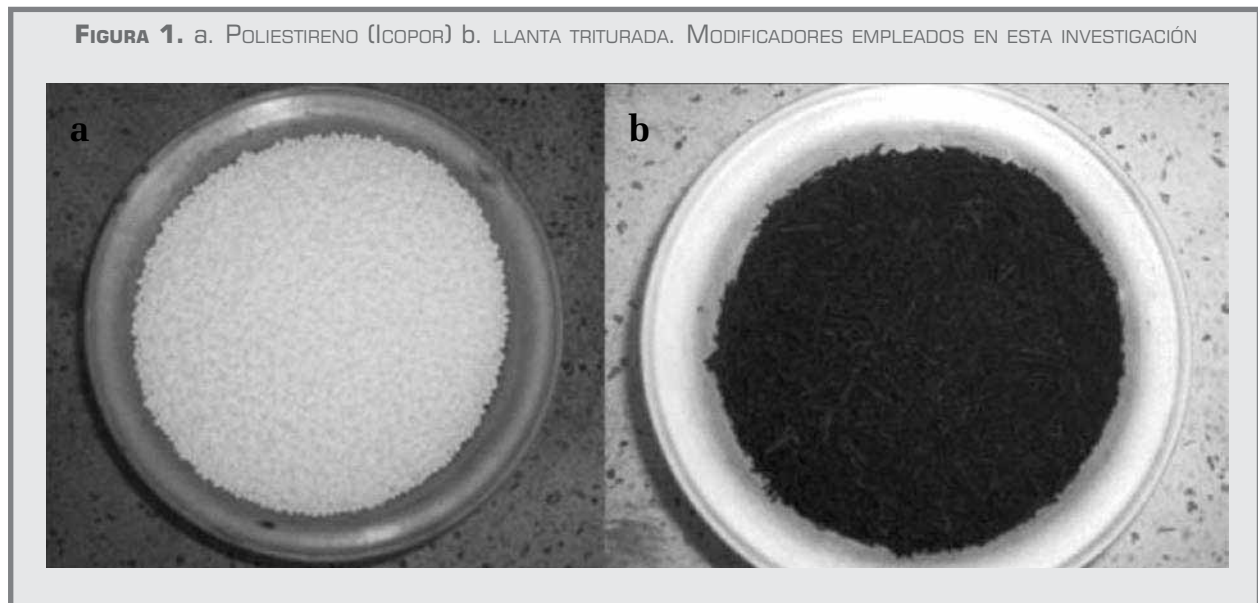
Es importante la necesidad del estudio del cemento asfáltico y la incidencia que los modificadores tienen en estos para obtener mejoras o adecuaciones en los proyectos viales, así como la importancia que merece por ser un componente fundamental en las mezclas asfálticas.

Algunas de las bondades que se pueden obtener a partir de la modificación del cemento asfáltico son:

- Disminución de la susceptibilidad térmica.
- Aumentar la cohesión interna.

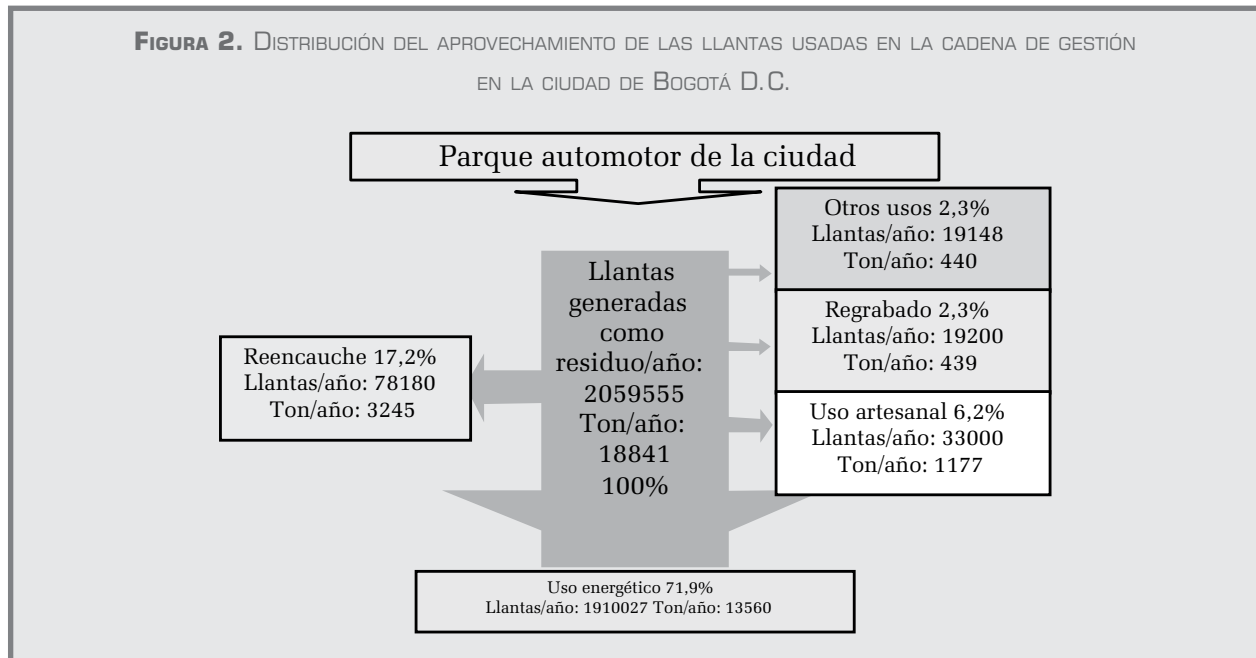
- Mejorar la flexibilidad y la elasticidad a bajas temperaturas.
- Mejorar el comportamiento a la fatiga.
- Aumentar la adhesividad agregado – ligante.
- Aumentar la resistencia al envejecimiento (Reyes y Ortiz, 2002).

Llanta triturada. Modificador de asfaltos que incide de manera benéfica en la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas, esto se visualiza en la disminución de grietas. Los cauchos naturales y los sintéticos como SBS y SBR, son la materia prima que compone las llantas; a su vez también hacen parte de estas, aditivos entre los que sobresalen aceites, negro de humo, resinas fenólicas, sulfuro y ácidos grasos. Estos materiales, que son considerados desechos del parque automotor, pueden tener una mejor aplicación y plantear una alternativa para su manipulación. El caucho natural aporta propiedades elásticas, en tanto que el caucho sintético proporciona la estabilidad térmica (Figura 1).



La incorporación de la llanta al cemento asfáltico se denomina inserción por vía húmeda, que consiste en la mezcla y homogenización de los materiales antes de realizar la mezcla asfáltica. Algunas de las impurezas que se pueden identificar en la composición de la

llanta triturada o goma de caucho reciclado (GCR) van desde acero, humedad, fibras o cualquier contaminante. En la Figura 2 se puede apreciar la utilización que se le está dando a las llantas usadas que produce el parque automotor de la ciudad de Bogotá.



Fuente: DAMA, 2006.

MATERIALES Y MÉTODOS

La modificación del asfalto se realizó a 135 y 170°C; sin embargo, la temperatura óptima de modificación del asfalto fue 170°C, a 3000 rpm. En investigaciones anteriores (Figuroa y Reyes, 2005) se obtuvo el porcentaje óptimo de poliestireno de 1%. Con base en esto el diseño de modificación aplicado es el que se presenta en la Tabla 1.

El tiempo de incorporación de los dos modificadores varió entre 30 y 40 segundos, dependiendo de la cantidad de modificador; posteriormente se realizó el proceso de mezclado de los modificadores con el asfalto entre 50 y 60 segundos, para luego disponer de la muestra en cada una de las pruebas y ensayos (Figura 3).

TABLA 1. RELACIÓN DE MODIFICACIONES AL ASFALTO

Tipo de Modificación	Porcentaje de Modificadores
Asfalto modificado con poliestireno	1% de poliestireno
Asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada	1% de poliestireno y 12% de llanta triturada
	1% de poliestireno y 14% de llanta triturada
	1% de poliestireno y 16% de llanta triturada
	1% de poliestireno y 18% de llanta triturada

FIGURA 3. PROCESO DE MODIFICACIÓN DEL ASFALTO.



Debido a la limitante del mezclador de no poder controlar y mantener constante la temperatura a la cual se realizó el proceso de modificación, se trató de minimizar el tiempo desde el momento en que se pesó el cemento asfáltico hasta la culminación del mezclado, transcurso en el cual se establecieron disminuciones de temperatura entre 10 y 15°C según la agilidad en cada proceso.

CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO CONVENCIONAL Y MODIFICADO

Ensayo de ductilidad. Los ensayos de ductilidad se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento establecido en la norma I.N.V. E – 702.

Ensayo de punto de ignición y llama. Los ensayos de punto de ignición y llama se realizaron utilizando el método de desplazamiento.

Ensayo de punto de ablandamiento. Los ensayos de punto de ablandamiento por el método de anillo y bola se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento establecido en la norma I.N.V. E – 712.

Ensayo al horno de lámina asfáltica delgada en movimiento. El efecto del calor y del aire en el asfalto durante el proceso de elaboración de las mezclas se debe tener en cuenta ya que va a ser la condición en la que estará al servicio, por lo tanto, por medio de este ensayo se evaluaron estas incidencias y la pérdida de masa que sufre el cemento asfáltico después de ser sometidos a determinadas condiciones de temperatura y aire.

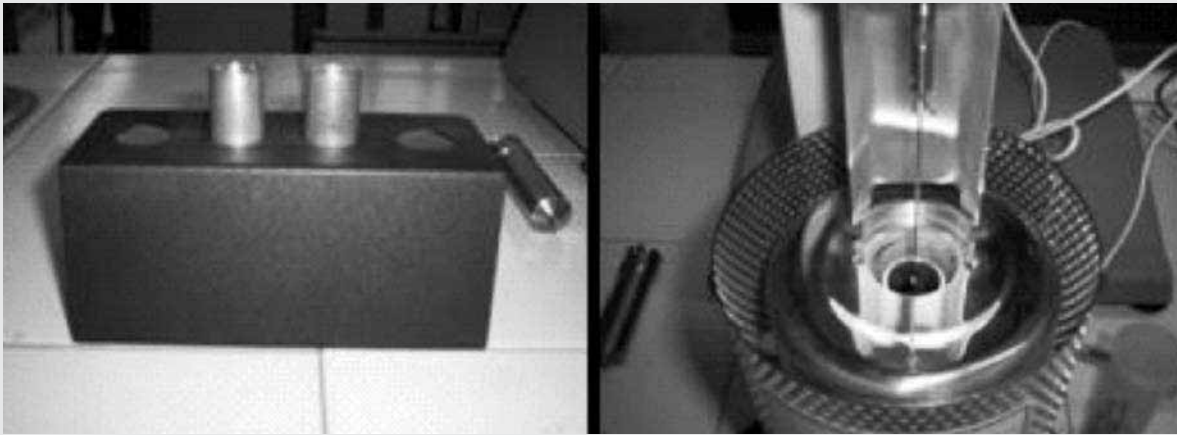
Los ensayos al horno de lámina asfáltica delgada en movimiento se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento establecido en la norma I.N.V. E – 720, la norma I.N.V. E – 702 para el ensayo de ductilidad al residuo y la norma I.N.V. E – 706 para el ensayo de penetración al residuo (Figura 4).

FIGURA 4. ENSAYO AL HORNO DE LÁMINA ASFÁLTICA EN MOVIMIENTO



Ensayo de viscosidad de Brookfield. Los ensayos al horno de viscosidad de Brookfield se realizaron siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM 4402 (Figura 5). Los ensayos de viscosidad de Brookfield se realizaron para la muestra convencional y para las muestras modificadas a 170°C, ya que presentaron mayor homogenización tanto de la llanta triturada como del poliestireno con el ligante asfáltico.

FIGURA 5. ENSAYO DE VISCOSIDAD DE BROOKFIELD



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

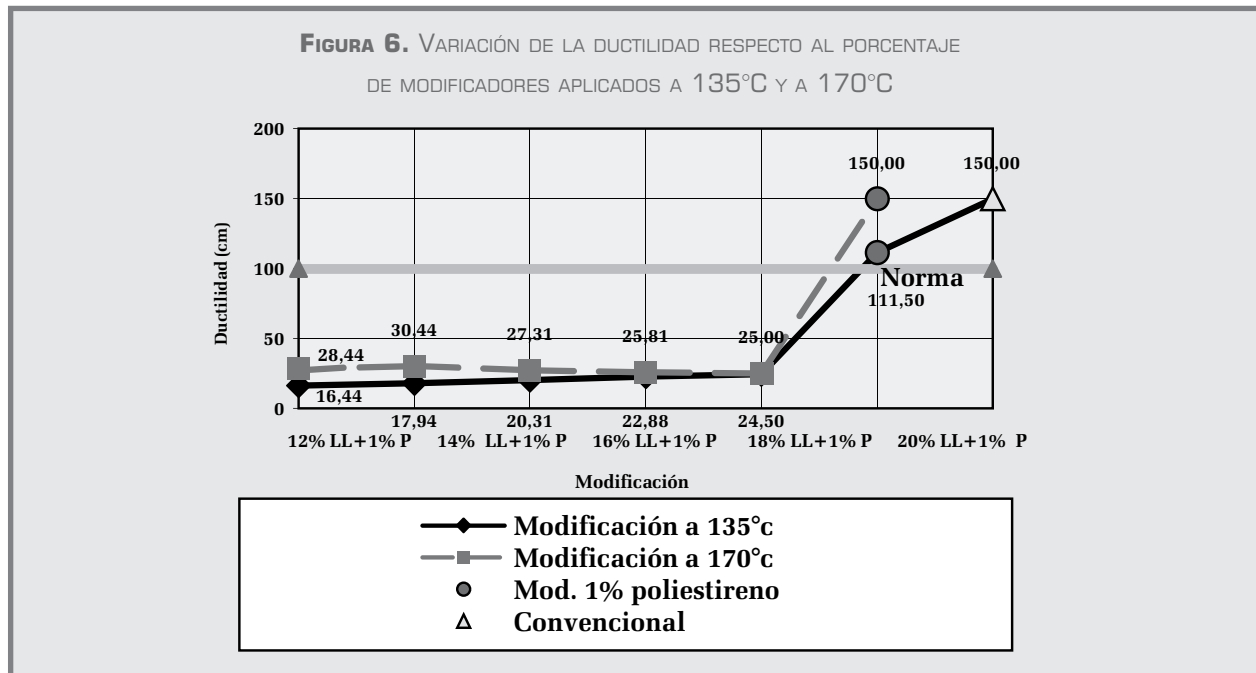
En cuanto a la ductilidad las muestras de asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada presentaron resultados muy bajos y directamente proporcionales con respecto a la concentración de llanta triturada, lo cual se interpreta como un material con un alto grado de rigidez y un bajo nivel de susceptibilidad a las deformaciones plásticas. Por otro lado, la muestra modificada con poliestireno registró un valor superior a las anteriores y por encima del registro mínimo establecido en el artículo 400 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras es decir 100 cm o más, (norma).

Para la muestra de cemento asfáltico convencional se obtuvieron valores superiores a 150 cm, que es la máxima lectura que se puede registrar en el ductilómetro, y a la cual las probetas llegaron sin lograr la rotura. Tanto la muestra convencional como la muestra modificada con 1% de poliestireno se pueden considerar como materiales dúctiles.

Los resultados arrojados por las muestras con contenido de los dos modificadores presentan registros bajos, pero que marcan un valor máximo de ductili-

dad entre estos, en la muestra con una concentración de 14% de llanta triturada y 1% de poliestireno, a partir de la cual descienden los resultados para las muestras modificadas restantes. Por otro lado, la muestra modificada con 1% de poliestireno establece valores similares a los del asfalto sin modificar, es decir, registros mayores a 150 cm. En la Figura 6 se presenta el resultado gráfico de la modificación para 135 y 170°C.

En términos generales, los asfaltos con presencia tanto de llanta como de poliestireno se mostraron como un material con propiedades ligantes inferiores a las del asfalto sin modificar y pero con menor susceptibilidad térmica. Una de las posibles causas de los bajos resultados obtenidos en este tipo de modificaciones es la complejidad para homogenizar el cemento asfáltico con los modificadores, especialmente la llanta. Los resultados obtenidos para el asfalto modificado con poliestireno evidenciaron un repunte en la modificación a mayor temperatura debido a un mejor mezclado entre el modificador y el material convencional dando como resultado valores similares a la muestra sin modificar, es decir, resultados superiores a 150 cm donde las probetas no fallaron.



Fuente: Sánchez, 2006.

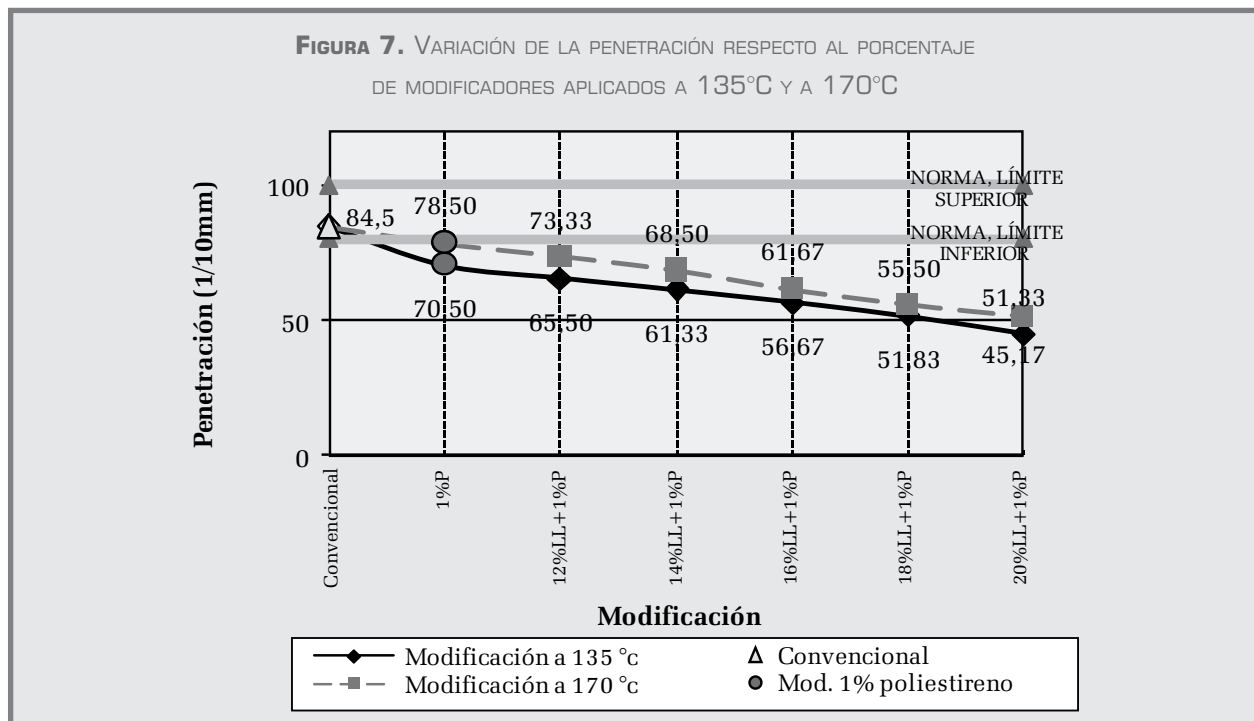
A partir de los valores obtenidos para las modificaciones con sólo poliestireno tanto a 135°C como a 170°C, estos se consideran materiales dúctiles. Tanto el asfalto convencional como el modificado con 1% de poliestireno a las dos temperaturas, cumplen con valores mínimos establecidos para la aprobación de este material, por lo tanto se consideran materiales con un alto grado de adhesividad, brindando excelentes propiedades como ligante.

Respecto a la penetración la muestra de asfalto convencional arrojó resultados de penetración superiores a 80 décimas de mm. Entre tanto, los cementos asfálticos se tornaron duros entre mayor concentración de modificadores hizo parte de cada una de las muestras, donde la muestra modificada sólo con poliestireno redujo en más de 10 décimas de mm respecto al valor obtenido para el asfalto convencional y la reducción se fue acentuando directamente proporcional con la presencia de la llanta triturada en mayores proporciones hasta que se obtuvo un valor de 45 décimas de milímetro aproximadamente para el cemento asfáltico con mayor porcentaje de llanta

triturada también conocida como goma de caucho reciclada, esta reducción representó casi 40 décimas de mm en comparación con el asfalto convencional.

La muestra modificada con poliestireno presentó una reducción de penetración en comparación con el espécimen convencional y para las modificaciones con poliestireno y grano de caucho reciclado se obtuvo una mayor consistencia a medida que se incrementó la concentración de este segundo modificador en el cemento asfáltico. Por lo tanto, esto indica que los modificadores generaron un endurecimiento en el asfalto que se evidenció en las muestras con mayor contenido de los mismos.

Los resultados obtenidos para el asfalto convencional permitieron clasificarlo como un cemento asfáltico de penetración 80-100, lo que hace prever que este material dentro de una mezcla asfáltica otorgue a ésta una baja tendencia al fisuramiento pero una alta probabilidad de ahuellamiento. Además este tipo de asfalto tiene una alta durabilidad y adherencia (Figura 7).

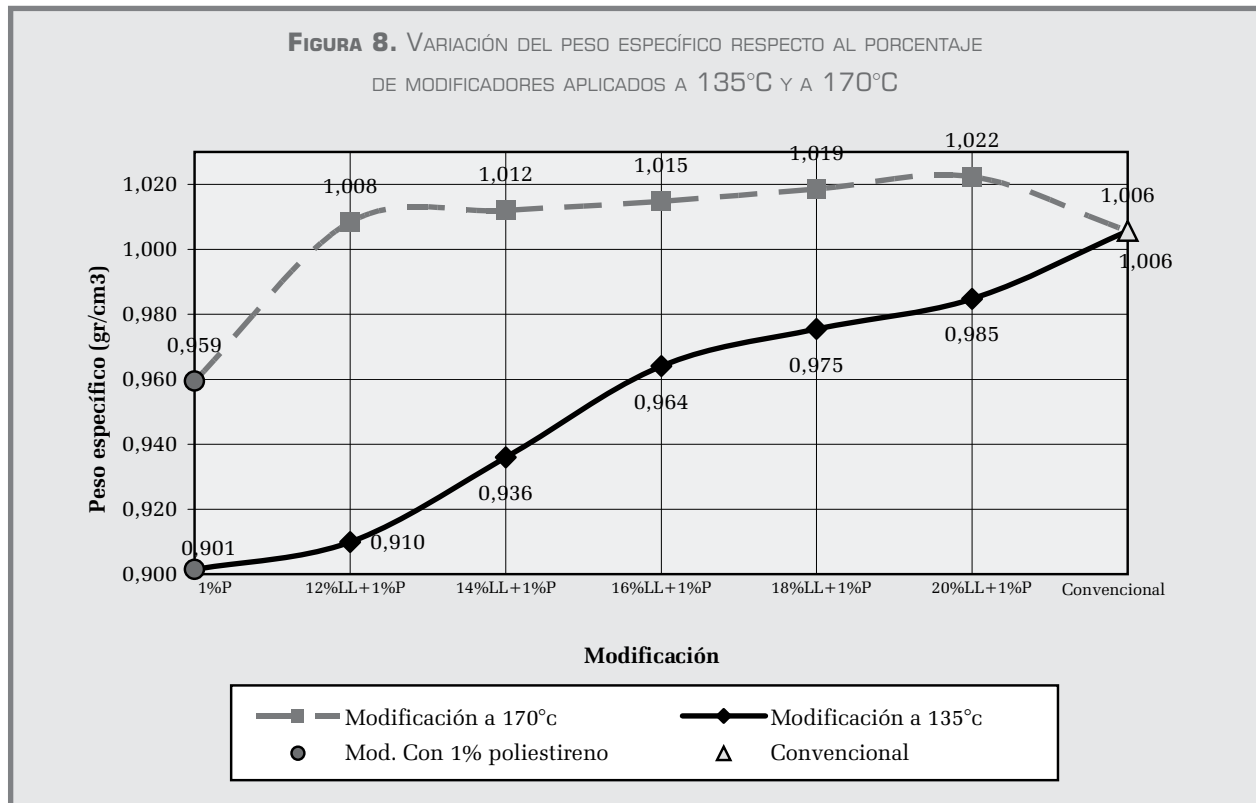


Fuente: Sánchez, 2006.

En cuanto peso específico para el asfalto convencional los ensayos arrojaron un peso específico de 1,006 gr/cm³, luego de modificado el cemento asfáltico con 1% de poliestireno por el peso específico obtenido por este material reveló un descenso debido al bajo peso específico del poliestireno y al nivel de mezclado entre los materiales. Los asfaltos con contenido tanto de poliestireno como de llanta triturada mostraron un ascenso en los resultados, comprometidos con el nivel de participación de la goma de caucho reciclado en el material cementante modificado. Los resultados de pesos específicos de asfaltos modificados por debajo del valor obtenido en el material convencional se deben principalmente a una de las características principales de los polímeros que es la de poseer un bajo peso específico, en este caso especialmente el poliestireno que se ve reflejado en los vacíos que se aportan en la inclusión de éste y que perduran debido al proceso de mezclado entre éstos y el cemento asfáltico. En tanto que el asfalto modificado con icopor presentó un registro inferior al asfalto convencional, los modificados con llanta

y poliestireno arrojaron resultados ligeramente superiores al material cementante sin ningún tipo de modificación; es decir, sobrepasando 1,006 gr/cm³, esto se puede evidenciar debido a que la llanta le da un mayor aporte para elevar el valor del peso específico.

Para todas las modificaciones se hace evidente el incremento en el peso específico entre las dos temperaturas a las cuales se llevó a cabo el proceso de modificación, lo cual se debe al logro de una mejor mezcla y homogenización de la mezcla; es decir, un mejor acomodamiento de las partículas, disminuyendo el volumen de vacíos dentro de la estructura del material. En términos generales los resultados se ajustaron a los valores esperados, ya que gran parte de estos se encuentran alrededor de la unidad, los valores que se encuentran más lejanos a éste son los obtenidos en las modificaciones a 135°C. En la Figura 8 se observa la variación del peso específico respecto al porcentaje de modificadores aplicados a 135°C y a 170°C. (Sánchez, 2006).



Fuente: Sánchez, 2006.

En cuanto al ensayo de punto de ignición y llama, para el cemento asfáltico convencional se obtuvo un punto de ignición de 283°C y un punto de llama de 323°C, mientras que para los asfaltos con contenido de poliestireno y llanta incorporados a 135°C, presentaron una tendencia a la baja, tanto en la ignición como en la llama, haciéndose más evidente en las muestras con mayor contenido de modificadores; por lo tanto, la presencia de los dos modificadores en el asfalto repercute en el descenso de las temperaturas que se necesitan conocer para una manipulación segura.

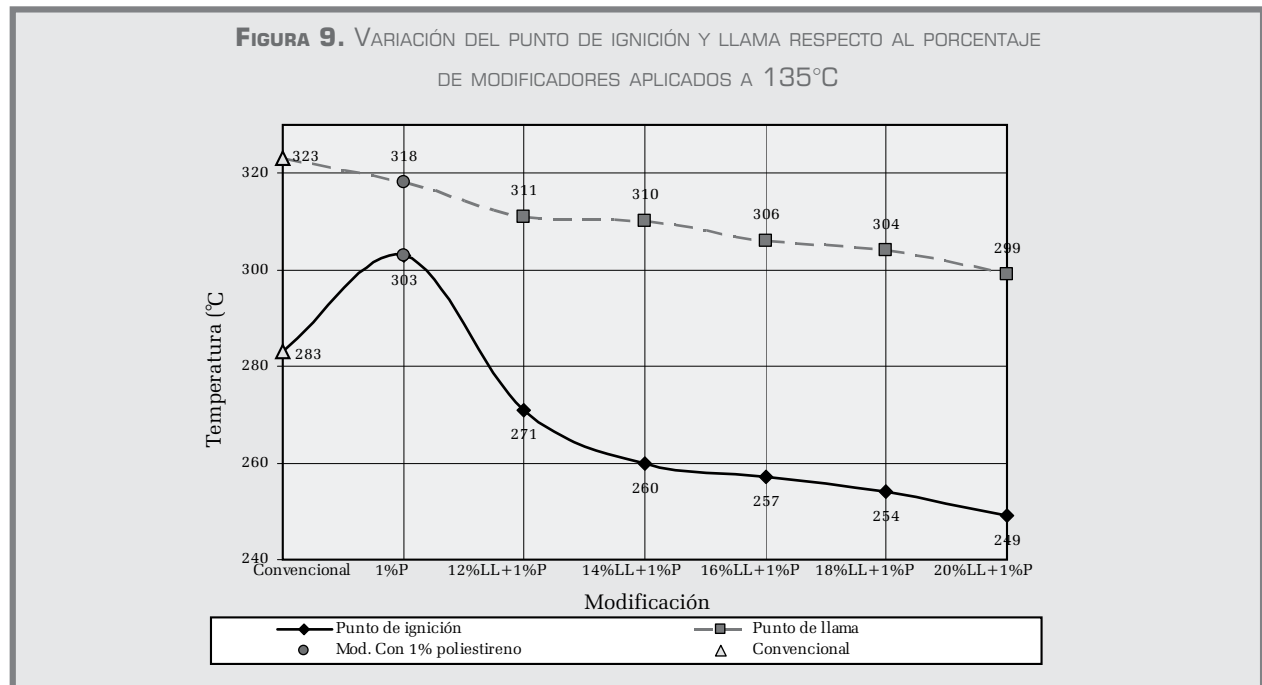
Para los resultados de puntos de llama de las modificaciones a 170°C se presentó una tendencia similar a las de las muestras modificadas a 135°C, es decir, una reducción con respecto al asfalto convencional, pero menos acentuada. Para la muestra con sólo icopor y para las tres muestras modificados con menor concentración de llanta los puntos de ignición que

se registraron fueron mayores a los del cemento asfáltico sin modificar, ya para las muestras con mayor porcentaje de llanta los resultados de ignición fueron menores, pero manteniendo entre todas las muestras una tendencia descendente de acuerdo con un mayor porcentaje de modificadores. En la Figura 9 se observa la representación gráfica de los resultados.

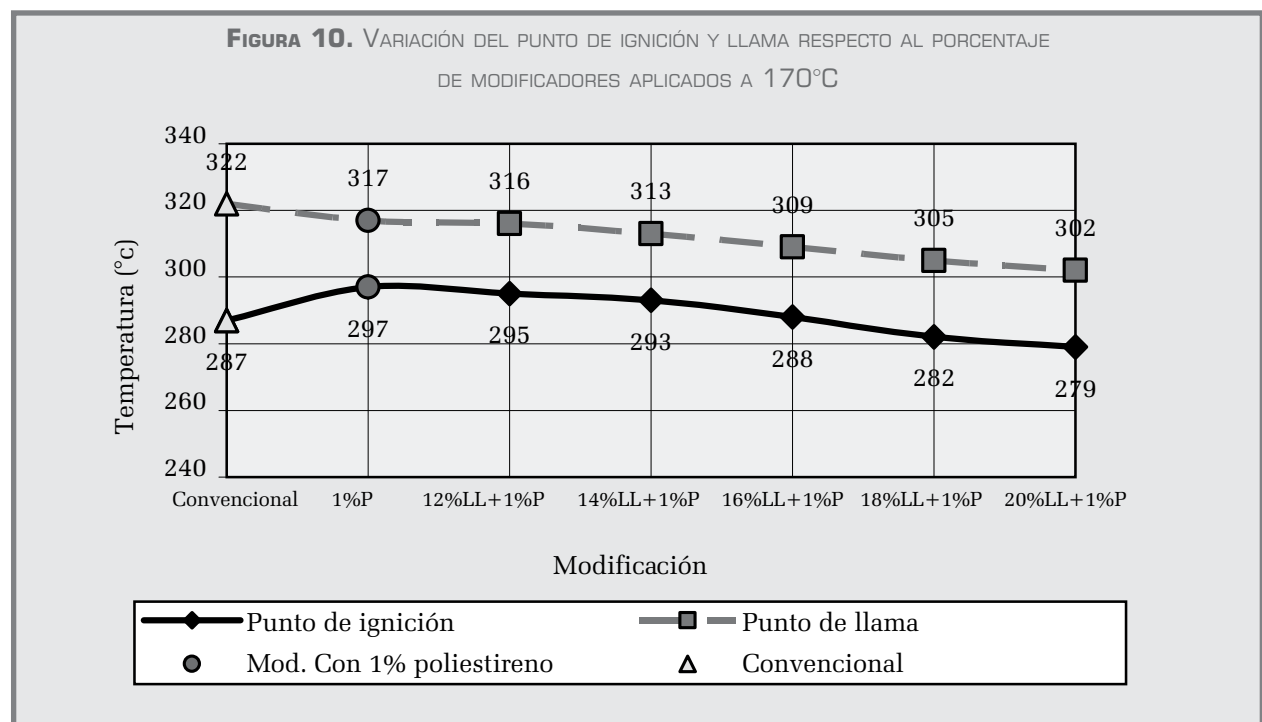
En las diferencias entre el punto de ignición con el punto de llama para los cementos asfálticos modificados a 170°C se presentó una reducción generalizada con respecto a las mismas registradas en las muestras modificadas a 135°C, exceptuando la muestra con sólo poliestireno que radicó una leve ampliación entre estos puntos. La reducción que se presentó entre las dos temperaturas en los asfaltos con presencia de los dos polímeros modificadores se debió a la mejor incorporación y mezcla de estos con cemento asfáltico convencional, propiciada en parte por la temperatura a la cual se hizo el proceso

de modificación. Respecto al punto de llama se reducen las temperaturas de trabajo para los asfaltos

modificados, representando esto un menor índice de seguridad (Figura 10).



Fuente: Sánchez, 2006.

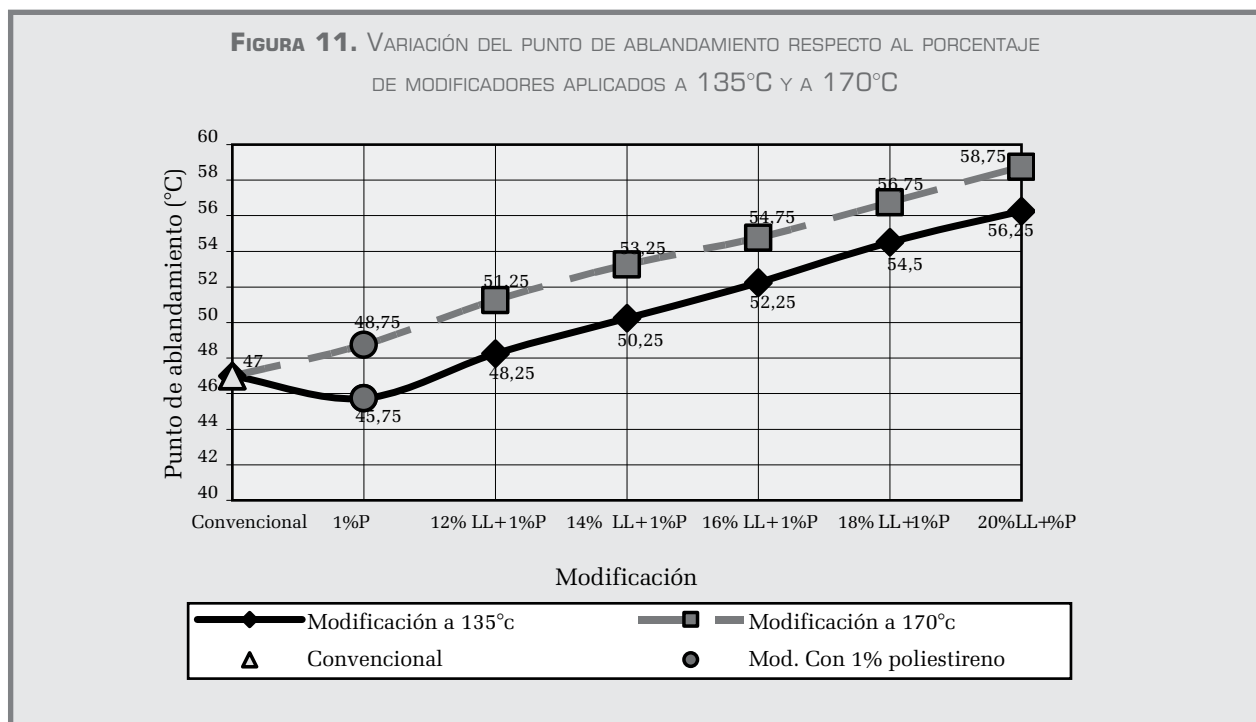


Fuente: Sánchez, 2006.

En cuanto al punto de ablandamiento, en la muestra convencional se obtuvo un punto de ablandamiento de 47°C, la muestra modificada sólo con poliestireno registró un leve descenso que se puede justificar por falta de integración del modificador con el cemento asfáltico, mientras que los asfaltos con contenido de llanta y poliestireno obtuvieron valores superiores al convencional, a partir de lo cual se pudo deducir una rigidización del material debida a la presencia de los modificadores hasta la obtención de valores 9°C por

encima del material original en el asfalto modificado con mayor contenido de los polímeros.

Para los asfaltos modificados a 170°C se observó un incremento de este valor tanto en la muestra con sólo poliestireno como en los asfaltos con contenido de los dos modificadores, resultado que se acrecentó en la medida que se aumentaba la participación de estos en la modificación hasta registrar 58,75°C para una adición de 20% de goma de caucho reciclada y 1% de icopor (Figura 11).

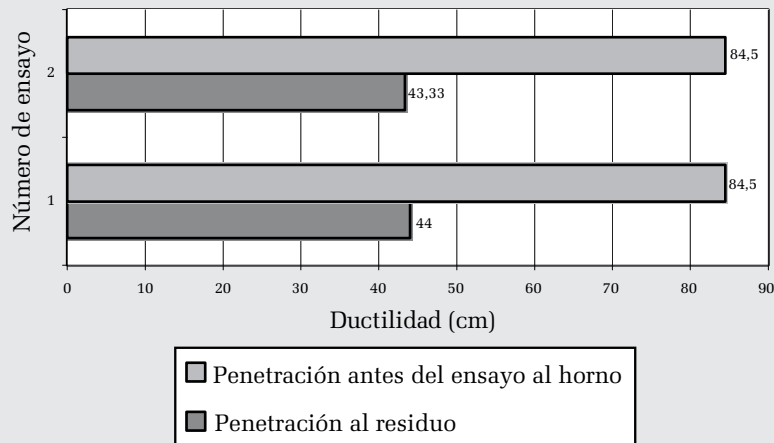


Fuente: Sánchez, 2006.

Cabe aclarar que en la tabla se dispone este valor para el ensayo regulado en la norma I.N.V. E – 721, pero se adopta para esta prueba ya que esta fue dispuesta para obtener resultados similares en menor tiempo.

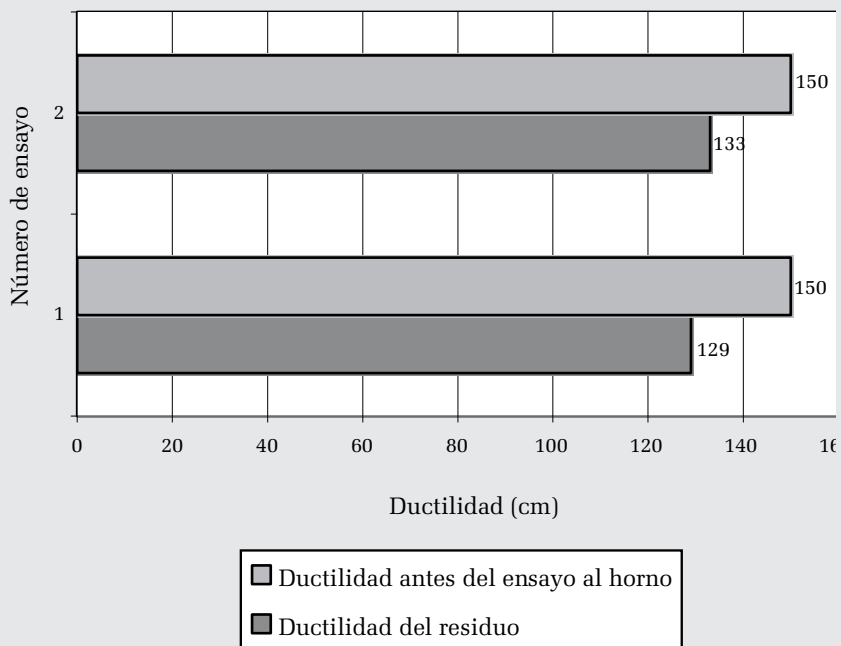
Los ensayos de ductilidad al residuo presentaron una reducción de 14% en la primera prueba y 11,3% para la segunda, tomando 150 cm como ductilidad del asfalto original, ya que es el valor máximo que se puede obtener en el ductilómetro y al que las probetas llegaron sin lograr la rotura de estas (Figura 12).

FIGURA 12. RESULTADOS DE LA PENETRACIÓN PARA EL ASFALTO CONVENCIONAL ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYO AL HORNO DE LÁMINA ASFÁLTICA DELGADA EN MOVIMIENTO



Fuente: Sánchez, 2006.

FIGURA 13. RESULTADOS DE LA DUCTILIDAD PARA EL ASFALTO CONVENCIONAL ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYO AL HORNO DE LÁMINA ASFÁLTICA DELGADA EN MOVIMIENTO



Los ensayos de viscosidad de Brookfield se realizaron para la muestra convencional y para las muestras modificadas a 170°C, ya que presentaron mayor homogenización tanto de la llanta triturada como del poliestireno con el ligante asfáltico.

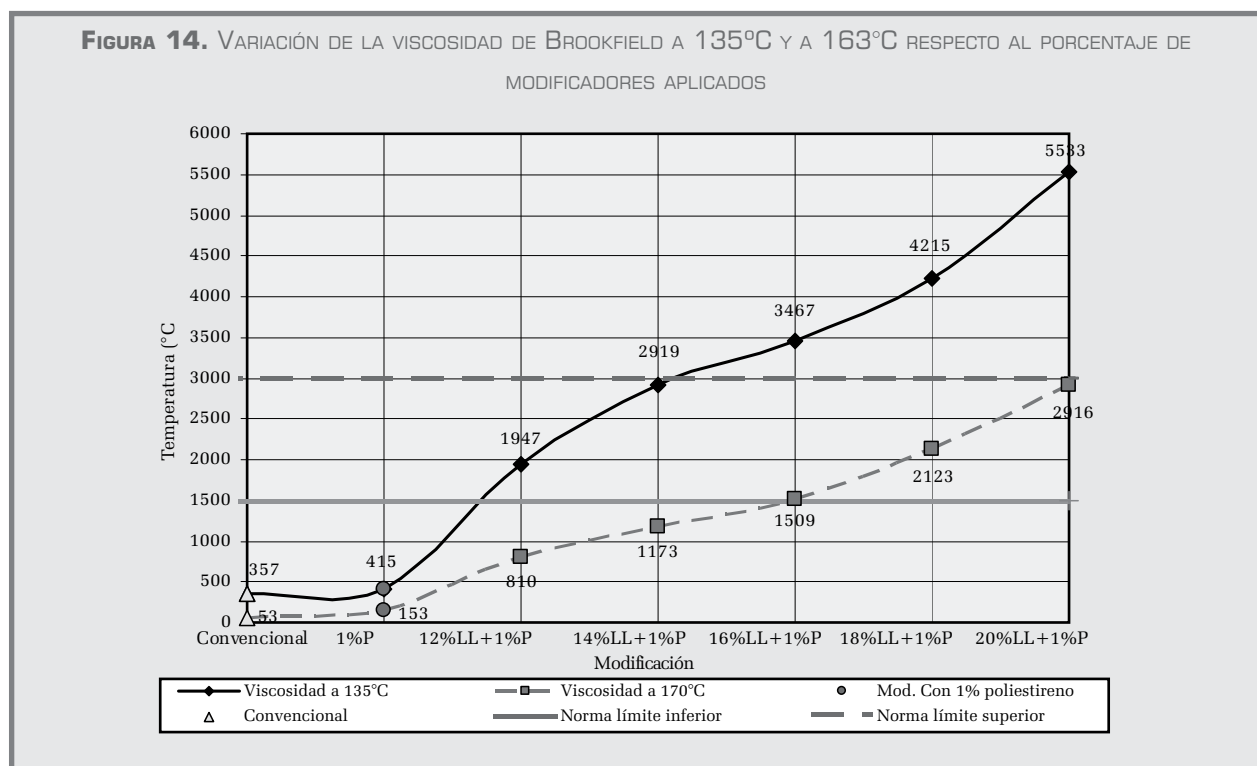
En la obtención de la viscosidad de los materiales a 135°C, para el ligante asfáltico sin modificar se obtuvo un valor de 357 centipoises (cp), mientras que para el ligante modificado con icopor se evidenció un aumento a 415 cp. Para el cemento asfáltico mo-

dificado con poliestireno y llanta se presentó un incremento considerable que se acentuó en las modificaciones con mayor presencia de grano de caucho reciclado llegando a resultados poco mayores a 5500 cp para el cemento asfáltico con 20% de llanta y 1% de poliestireno.

La viscosidad a 163°C se redujo frente a los resultados de la misma a 135°C, estando de acuerdo con la relación que se establece normalmente entre la viscosidad y la temperatura, ya que son variables in-

versamente proporcionales. En las dos temperaturas se presentó la misma tendencia de incremento de valores de la prueba de acuerdo a los porcentajes de materiales modificadores incorporados a cada una de las muestras de cemento asfáltico.

A partir de estos resultados se demostró que los modificadores inciden en la viscosidad de forma proporcional de acuerdo a la concentración de estos en el cemento asfáltico (Figura 14).



Las viscosidades medidas a bajas temperaturas son las de la mezcla entre el cemento asfáltico y los modificadores, mientras que a altas temperaturas son las de las partículas tanto de llanta como de icopor que se encuentran disgregadas en el asfalto que presenta viscosidades bajas.

Para consideraciones de contenido de modificadores se debe tener en cuenta que las viscosidades ideales a 163°C se encuentran entre 1500 cp y 3000 cp. Para los resultados obtenidos se considerarían los ligan-

tes modificados con porcentajes de llanta superiores a 16% y 1% de icopor.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los ensayos de penetración para el asfalto convencional, éste se clasificó como un asfalto de penetración 80/100, el cual se considera con alto grado de adherencia, de consistencia relativamente blanda y con una tendencia al ahuellamiento en una mezcla asfáltica. Esto se confirmó con los resultados

obtenidos tanto en el ensayo de punto de ablandamiento (47°C) como en ductilidad (>150 cm).

Los resultados del ensayo de horno rotatorio para el cemento asfáltico sin modificar no cumplieron los parámetros para penetración al residuo, ya que presentaron reducciones mayores a las permitidas en las especificaciones generales de construcción de carreteras, que establecen una reducción máxima del 25% sobre el valor de penetración del asfalto original. Es decir, que este material tiene una alta susceptibilidad a rigidizarse por efecto del calor y del aire.

Luego de la inspección visual del resultado de los procesos de modificación tanto a 135°C como a 170°C y teniendo en cuenta las tendencias de los ensayos, se evidenció una mejor incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) y el poliestireno durante el último procedimiento de mezclado, obteniendo así un cemento asfáltico modificado de mayor homogeneidad. El cemento asfáltico modificado sólo con poliestireno presentó una mayor consistencia respecto al ligante convencional, ya que mostró una reducción en la penetración en las muestras modificadas a 135°C y a 170°C.

El ligante modificado con icopor reveló una rigidización en comparación con el asfalto convencional, evidenciado en la disminución de ductilidad en el cemento asfáltico modificado a 135°C. A pesar del efecto del poliestireno en el cemento asfáltico, este material se consideró dúctil, de acuerdo a los rangos establecidos para esta consideración. Para la modificación a 170°C el ligante modificado arrojó resultados de ductilidad similares a la muestra sin modificar, por lo tanto, se logró una excelente combinación del poliestireno con el cemento asfáltico. La condición de asfalto dúctil lo hace mejor para controlar la fatiga y fisuramiento en los pavimentos.

El ligante asfáltico modificado con poliestireno y llanta triturada comparado con el cemento asfáltico

convencional muestra mayores registros de punto de ablandamiento, los cuales se incrementan de manera proporcional al contenido de los modificadores en el mismo.

Las viscosidades de Brookfield de los asfaltos modificados con los dos polímeros son mucho mayores que la del ligante sin modificar, éstas se incrementaron en cuanto mayor contenido de llanta triturada se hizo parte de la modificación. Esto se debió a que los modificadores cambian las propiedades del material original, tanto por la incorporación de estos como por las temperaturas elevadas a las cuales es sometido el asfalto original durante el proceso de modificación.

De acuerdo a los parámetros de viscosidad de Brookfield que establecen un rango de 1500 cp a 3000 cp a una temperatura de 163°C. La modificación ideal debe tener un contenido igual o superior al 16% de llanta más 1% de poliestireno del peso del asfalto base de la modificación.

De acuerdo a lo anterior, se lograría un alto impacto en el manejo de materiales reciclables, mitigando la problemática ambiental que aporta el manejo y disposición de este tipo de materiales. La reducción de la penetración y la ductilidad, y el incremento del punto de ablandamiento de los asfaltos modificados respecto al ligante asfáltico convencional, muestra que el poliestireno y la llanta triturada actuaron como agentes rigidizadores del cemento asfáltico logrando mayor consistencia en el material.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de laboratorio de la Universidad de La Salle y de la Pontificia Universidad Javeriana. Al ingeniero Juan Carlos Salazar, Director de planta de agregados Patria S.A. y la Renovadora de llantas Renoboy Ltda. por la colaboración con los materiales para esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA [on line]. Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumáticos [consultada el 13 de Febrero de 2006]. Citado de la página web: <<http://200.14.206.180/publnw/plaz/plaz5.htm>>.
- Figuroa, A. y F. Reyes. *Asfaltos modificados con poliestireno*. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle – Pontificia Universidad Javeriana, 2005.
- Instituto Nacional de Vías. *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Santafé de Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998a.
- Instituto Nacional de Vías. *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Santafé de Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1998b.
- Reyes, F. y M. Ortiz. “Mejoramiento de capas asfálticas usando desechos plásticos”. Memorias de las 3as Jornadas Internacionales del Asfalto. Universidad del Cauca – Corasfaltos – Ministerio de Transporte – Instituto Nacional de Vías – Instituto Panamericano de Carreteras. 2002.
- Sánchez, A. “Análisis comparativo de las características físicas entre el asfalto convencional y el asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada”. Trabajo de Grado. Universidad de La Salle. Bogotá D.C., 2006.