

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

## Comportamiento de mezclas asfálticas fabricadas con asfaltos modificados con ceras

Behavior of mixtures asphalt prepared  
with asphalts and wax modification

Oscar Javier Reyes Ortíz\*

*Universidad Militar Nueva Granada (Colombia)*

Luis Guillermo Fuentes Pumarejo\*\*

*Universidad del Norte (Colombia)*

Oscar Hernando Moreno-Torres\*\*\*

*Universidad del Magdalena (Colombia)*

\*oscar.reyes@unimilitar.edu.co

\*\*lfuentes@uninorte.edu.co

\*\*\*oshemoreno@yahoo.com

**Correspondencia:** Oscar Javier Reyes Ortíz. Facultad de Ingeniería  
Universidad Militar Nueva Granada. Carrera 11 n°. 101-80, Edificio F,  
Tercer piso. Bogotá, D.C. (Colombia). Tel.: 057-1-7480333, Ext. 6001.  
[oscar.reyes@unimilitar.edu.co](mailto:oscar.reyes@unimilitar.edu.co)

## Resumen

El propósito principal de la investigación fue modificar asfaltos colombianos con ceras naturales para fabricar mezclas asfálticas tibias y establecer su comportamiento mecánico y dinámico. Las mezclas estudiadas corresponden a las denominadas curvas granulométrías md-10 y md-12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). El estudio inició con la caracterización de los materiales a utilizar (granular, asfalto y ceras naturales), seguido de la determinación del porcentaje de adición de ceras y el contenido de asfalto óptimo para fabricar mezclas tibias. Posteriormente se fabricaron y compactaron las mezclas asfálticas a 110, 130 y 150°C para evaluar el efecto del asfalto modificado en su comportamiento mecánico y dinámico. Los ensayos utilizados para medir las propiedades de las mezclas asfálticas fueron la resistencia a la tracción indirecta, la resistencia conservada y los módulos resilientes. Del análisis de los resultados se estableció que las ceras naturales utilizadas reducen la viscosidad de los asfaltos y por ende las temperaturas de fabricación y compactación de las mezclas, reduciendo significativamente el consumo de energía y la generación de gases de efecto invernadero. De otra parte, se estableció que las propiedades mecánicas y dinámicas estudiadas a las mezclas asfálticas con asfalto modificado con ceras, son similares a las mezclas convencionales, estableciendo la viabilidad para su aplicación y uso.

**Palabras clave:** Mezclas tibias, asfalto modificado, ceras, módulo resiliente, resistencia tracción indirecta

## Abstract

The main purpose of the research was to modify Colombian asphalts with natural waxes to produce warm asphalt mixes and establish its mechanical and dynamic behavior. The studied mixtures correspond to the curves sieved curves called md-10 and md-12 according to the classification of the Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). The study started characterizing the used materials (granular aggregate, asphalt and natural waxes), and following by determining the optimum percentages of wax and asphalt content added to prepare mixes. Subsequently, it was prepared and compacted warm asphaltic mixes using temperatures at 110, 130 and 150 °C to evaluate the effect of modified asphalt in its mechanical and dynamic behavior. The used tests to measure the asphalt mixtures properties were indirect tensile strength, preserve strength and resilient modulus. The results of the analysis presents that the used natural waxes reduce the viscosity of the asphalts and as a result of this the temperature of preparation and compaction of the mixes drops which highly decrease the energy consumption during the preparation process. Therefore the generated greenhouse effect gases are also reduced. Moreover, other observation reveals that the mechanical and dynamic properties in asphalts mixes are similar to the conventional mixes which allow very good chances for its practical applications.

**Keywords:** warm mix asphalt, modified asphalt, wax, resilient modulus, indirect tensile test

Fecha de recepción: 16 de enero de 2012  
Fecha de aceptación: 27 de febrero de 2013

## INTRODUCCIÓN

La fabricación de mezclas asfálticas en caliente necesitan de altas temperaturas para su construcción y compactación (150°C-180°C), energía que especialmente se usa para evaporar el agua del granular y crear una viscosidad adecuada en el asfalto, de tal manera que sea suficientemente manejable y fluido[1]. Este proceso conlleva a un gran consumo de combustibles fósiles, que se ve reflejado en el aumento de los costos de fabricación, un elevado porcentaje de contaminantes a la atmósfera como los hidrocarburos policíclicos aromáticos, el Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Debido a este problema, la industria asfáltica ha emprendido acciones que permitan buscar, desarrollar e implementar nuevas alternativas y productos que disminuyan los efectos negativos ya mencionados y al mismo tiempo, mantengan las condiciones mecánicas y dinámicas de las mezclas asfálticas[2].

Las mezclas asfálticas tibias o semicalientes surgen como respuesta al consumo elevado de energía de las mezclas convencionales; que permite el mezclado, la compactación y colocación en obra a temperaturas inferiores, las cuales varían entre 20 y 60°C. La reducción de la temperatura no desmejora las propiedades mecánicas y dinámicas de la mezcla y además, aporta beneficios como la disminución de costos, el descenso de emisiones de gases efecto invernadero y la reducción de energía (figura 1)[3].

Para lograr estas reducciones se han realizado diferentes investigaciones en el mundo, siendo las más empleadas las modificaciones de asfaltos con diferentes agentes reductores de viscosidad, entre los cuales se encuentran las ceras y los tensoactivos, que dadas sus características modifican la curva de viscosidad del cemento asfáltico y permiten reducir las temperaturas de fabricación y compactación de la mezcla asfáltica (figura 2)[4].

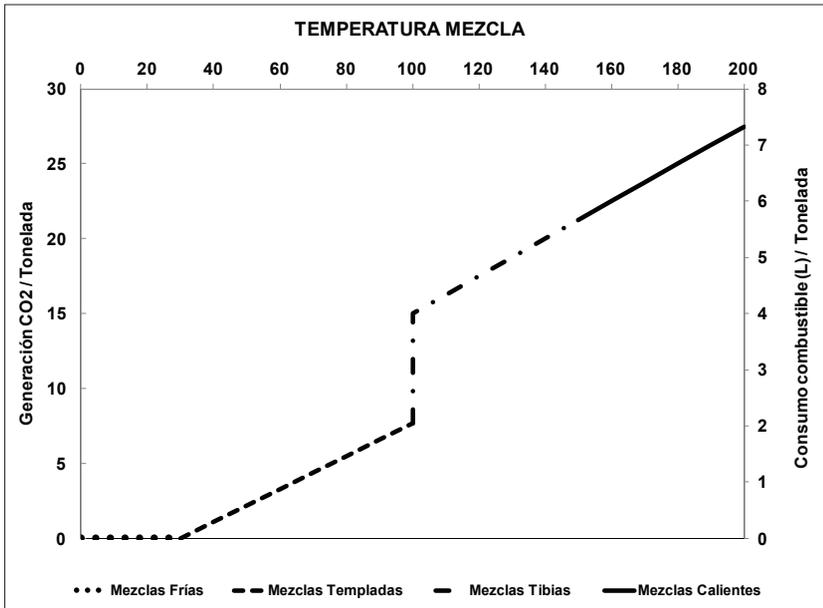


FIGURA 1. TEMPERATURA DE FABRICACIÓN, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y CANTIDAD DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO

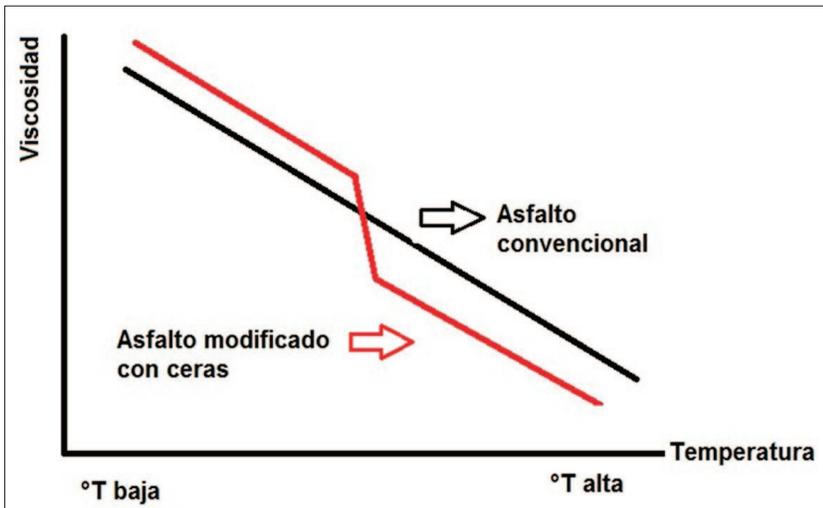


FIGURA 2. COMPORTAMIENTO DE LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

Reyes *et al.* adelantaron una investigación mediante la cual al introducir ceras o tensoactivos al asfalto, era viable reducir la temperatura de fabricación y compactación de mezclas asfálticas en 20°C. El estudio se fundamentó en primera instancia en la obtención de los porcentajes óptimos de cera y tensoactivo a adicionar al asfalto de penetración B-60/70 para modificar su viscosidad. Posteriormente usaron el asfalto modificado en la fabricación de mezclas asfálticas cerradas para evaluar el efecto en sus propiedades mecánicas y dinámicas. Los resultados obtenidos establecieron que existe un comportamiento similar a las mezclas convencionales en cuanto a resistencia a la tracción directa, módulo dinámico y leyes de fatiga [3], [5].

Gil Redondo *et al.* por medio de ensayos con el Reómetro de Corte Dinámico (DSR) y de la calorimetría diferencial de barrido (DSC), establecieron que ceras Slack, Fischer-Tropsch, amidas de ácidos grasos y ceras de polietileno, afectan el comportamiento reológico y las propiedades físicas del asfalto [6]. Entre los resultados obtenidos resaltan que las ceras slack reducen la viscosidad del ligante a medida que se disminuyen las temperaturas de fabricación del aglomerado, lo que a su vez provoca una disminución de la rigidez del asfalto. Por otra parte, las ceras Fischer-Tropsch, la cera amida y ceras de polietileno redujeron la temperatura de fabricación del aglomerado, mejorando las características mecánicas, puesto que hay un aumento en la rigidez del asfalto [7]. Estos resultados indican que se puede reducir la temperatura de una mezcla asfáltica entre 20 y 30°C, sin alterar sus propiedades físicas.

Herrera *et al.* investigaron las mezclas tibias mediante la modificación del asfalto por medio de la adición de cera cruda de caña. Su estudio se fundamentó en la variación del porcentaje de ceras (1 y 4%) en el asfalto y el ensayo de viscosidad rotacional a temperaturas de 100, 135 y 160°C. A partir de los resultados de viscosidad, los autores establecieron que el porcentaje óptimo de cera está entre 1 y 2%, lo que ocasiona una disminución de la temperatura de fabricación de la mezcla entre 5 y 9°C. Paralelamente estudiaron la variación de las propiedades reológicas del asfalto modificado mediante envejecimiento por acción del aire y temperatura, estableciendo a partir de los ensayos de penetración, ductilidad, índice de penetración y punto de ablandamiento; que el porcentaje óptimo de cera de caña es del 2%. Estos resultados plantearon la viabilidad de su uso y la reducción de las temperaturas de compactación con propiedades similares a las mezclas convencionales [8].

Basados en los estudios desarrollados y en la hipótesis de modificar la viscosidad de los asfaltos para reducir la temperatura de fabricación y compactación de mezclas asfálticas convencionales, el presente artículo muestra los resultados experimentales obtenidos de la modificación de asfaltos con ceras naturales y su influencia en el comportamiento mecánico y dinámico de mezclas asfálticas cerradas con granulometría md10 y md12 del IDU.

## METODOLOGÍA Y MATERIALES

La metodología empleada en la investigación (figura 3), inicia con la selección de las granulometrías, el tipo de asfalto y ceras a utilizar en el estudio, seguida de la caracterización de los mismos. Posteriormente, los ensayos de viscosidad permiten determinar los porcentajes óptimos de cera que se deben adicionar al asfalto. Acto seguido, se determina el porcentaje óptimo de asfalto de las mezclas asfálticas mediante la metodología Marshall [9] y se fabrican muestras a 110, 130 y 150°C con asfalto virgen y modificado. Por último, se ejecutan los ensayos de resistencia a la tracción indirecta (RTI), resistencia conservada (RC) y módulo resiliente (Mr), con el propósito de establecer su comportamiento mecánico y dinámico y buscar de esta manera la viabilidad del uso de ceras naturales para modificar asfaltos y reducir las temperaturas de fabricación y compactación, sin alterar significativamente sus propiedades.

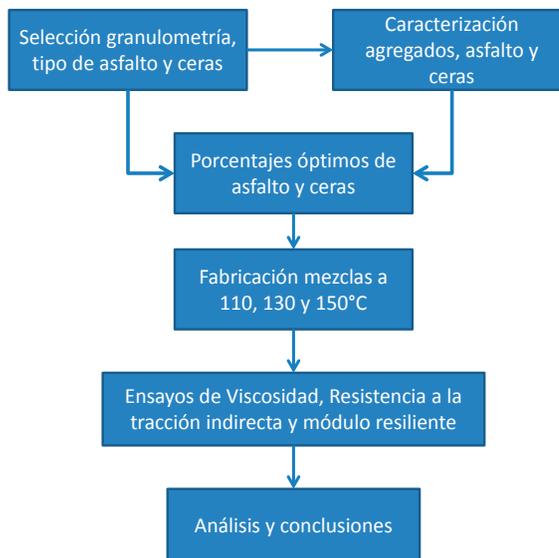


FIGURA 3. DIAGRAMA DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

## Selección de granulometría, tipo de asfalto y ceras

Las granulometrías empleadas en la investigación corresponden a mezclas asfálticas cerradas md10 y md12 de las especificaciones del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y son las usadas en la construcción de pavimentos en la capital de Colombia (Bogotá, D.C.), cuya malla vía en pavimento flexible asciende a más de 14.000 Km/carril (figura 4) [10].

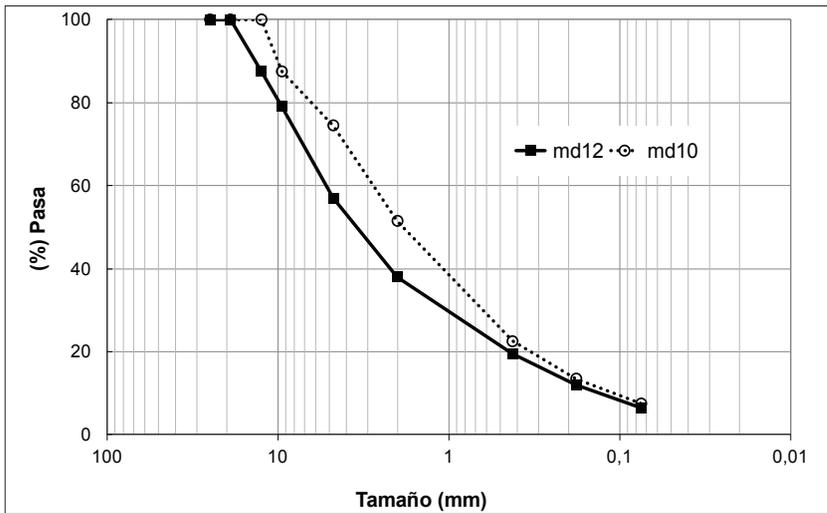


FIGURA 4. CURVAS GRANULOMÉTRICAS, MEZCLA CALIENTE MD10 Y MD12 DEL INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO

## Caracterización de los materiales

En la tabla 1, se resumen las características del agregado pétreo empleado para la elaboración de las mezclas asfálticas de la investigación.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO PÉTREO [11]

Ensayo	Norma	Resultado
Absorción de los Agregados Gruesos [%]	ASTM C 127	3.36
Peso específico aparente de los Agregados Gruesos	ASTM C 127	2.38
Absorción de los Agregados Finos [%]	ASTM C 128	2.57
Peso específico aparente Agregados Finos	ASTM C 128	2.46
Abrasión Los Ángeles [%]	ASTM C 535	25.60

El cemento asfáltico empleado en la investigación para la elaboración de las probetas, proviene de la refinería de Barrancabermeja de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) y sus características se muestran en la tabla 2 [12].

**TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO [11]**

Ensayo	Norma	Resultado
Penetración	ASTM D 5-97	62 (1/10mm)
Ductilidad	ASTM D 113-99	115 cm
Viscosidad	ASTM D 2170-95	1500 poises
Punto de ablandamiento	ASTM D 36-95	43°C
Punto de ignición y de llama	ASTM D 3143-98	220°C y 225°C

Las características de las ceras empleadas en el estudio aparecen en la tabla 3.

**TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LAS CERAS [11]**

Característica	Norma	Carnauba extraída de palma	Soya
Punto de fusión (°C)	ASTM D 127	70-90	40-60
Penetración (d mm)	ASTM D -1321	0-2	0-2

### Porcentaje óptimo de cera

La modificación del asfalto 60/70 utilizado en la investigación se realizó con adición de cera por peso entre el 1 y 5%. Para establecer el porcentaje óptimo de cera se determinó la viscosidad ideal de mezclado del agregado y asfalto con ensayos ejecutados en el DSR a diferentes temperaturas, obteniéndose un porcentaje óptimo de 5% para la cera carnauba y de 2% para la cera Soya, tal como se observa en las figuras 5 y 6 respectivamente.

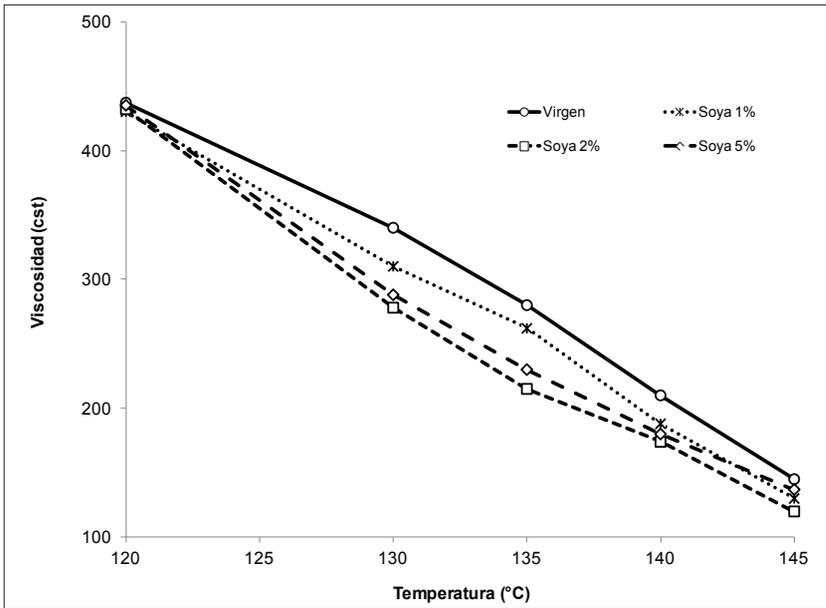


FIGURA 5. VISCOSIDAD VS. TEMPERATURA DEL ASFALTO MODIFICADO CON SOYA

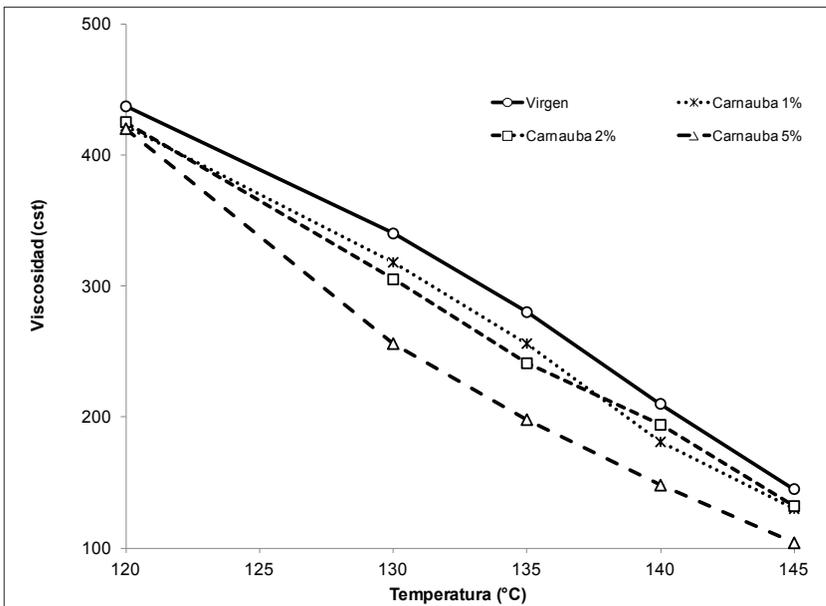


FIGURA 6. VISCOSIDAD VS. TEMPERATURA DEL ASFALTO MODIFICADO CON CARNAUBA

## ANÁLISIS DE DATOS

Definidas las granulometrías de la investigación (md10 y md12) y establecidos los porcentajes óptimos de cera para modificar el asfalto (Figuras 5 y 6), se procedió a encontrar el contenido óptimo de asfalto mediante la metodología Marshall [9]. En las figuras 7, 8 y 9, aparecen los resultados de estabilidad, flujo y densidad, determinándose el 6.0% como porcentaje óptimo de asfalto, el cual presenta las mejores condiciones en las propiedades de las mezclas patrón.

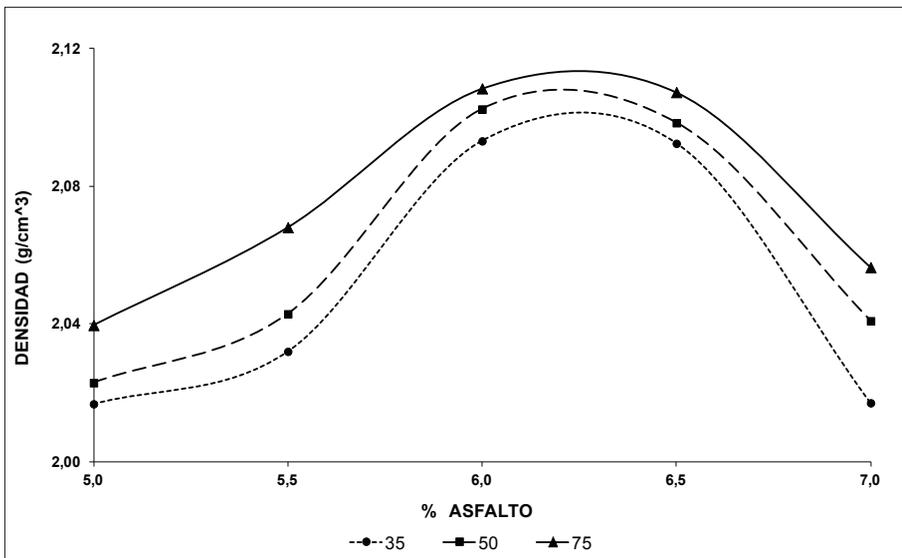


FIGURA 7. DENSIDAD VS PORCENTAJE DE ASFALTO

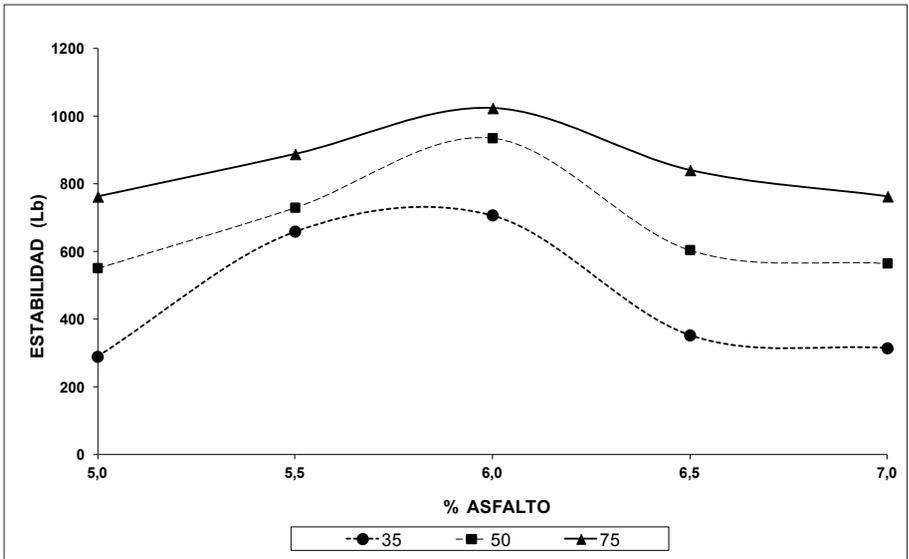


FIGURA 8. ESTABILIDAD VS PORCENTAJE DE ASFALTO

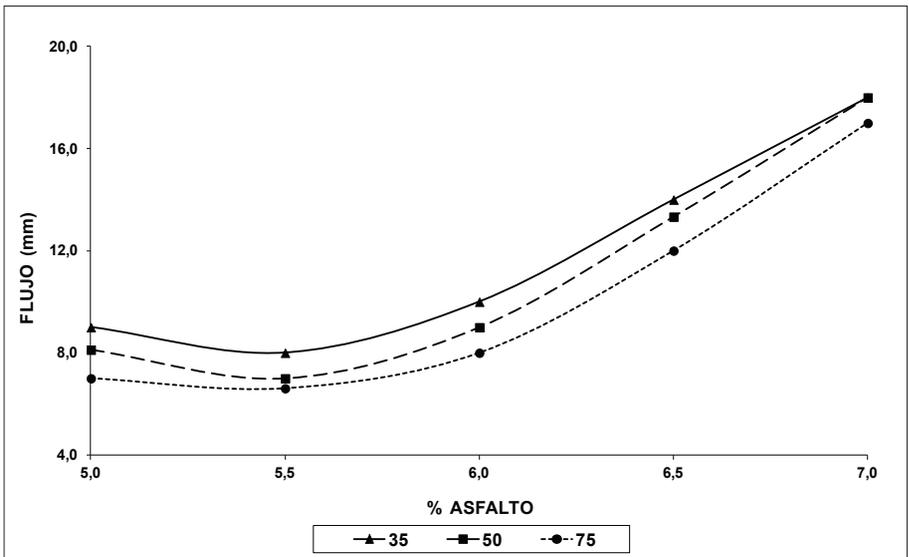


FIGURA 9. FLUJO VS PORCENTAJE DE ASFALTO

Con los porcentajes óptimos de asfalto y adición de ceras, se fabricaron muestras a 110, 130 y 150°C, para determinar sus propiedades mecánicas y dinámicas y así establecer la viabilidad de su aplicación y uso.

En la figura 10 se presenta la RTI en estado seco de las muestras fabricadas con asfalto virgen y asfalto modificado con ceras. En esta figura se puede observar que las mayores resistencias se obtienen en las mezclas fabricadas a 150°C, sin importar la granulometría y tipo de asfalto. Sin embargo, al comparar las resistencias de las mezclas md12, se evidencia que los mayores valores son para el asfalto modificado con carnauba, sin importar la temperatura de fabricación. Es más, para la temperatura mínima (110°C) las muestras modificadas con carnauba, tienen un valor superior que las obtenidas con la mezcla convencional. En el caso de las mezclas md10, las máximas resistencias la obtiene la mezcla convencional, sin embargo las resistencias de las muestras modificadas con carnauba son muy similares.

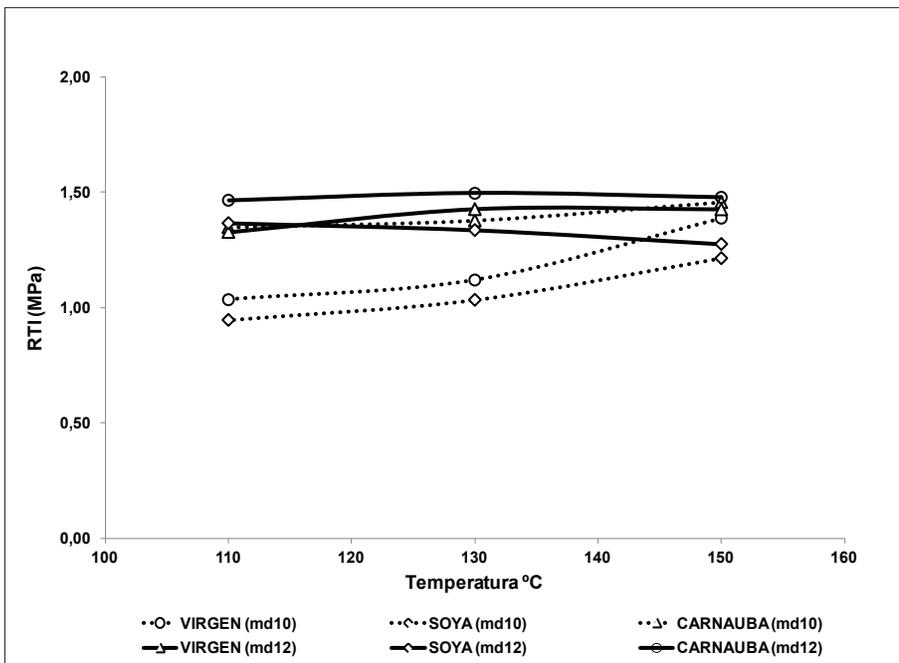
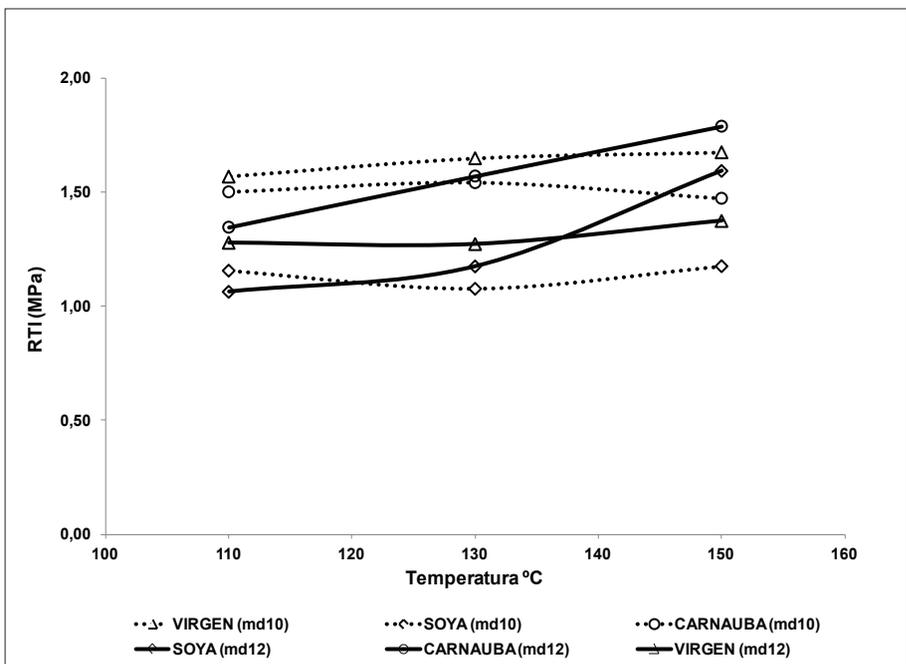


FIGURA 10. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN ESTADO SECO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MD10 Y MD12 (VÍRGENES Y MODIFICADAS CON CERA), ENSAYADAS A 15°C.

La RTI en estado húmedo de las mezclas asfálticas estudiadas, se observa en la figura 11. Las curvas evidencian que la mezcla con carnauba y granulometría md12, presenta las mayores magnitudes, independientemente de la temperatura de compactación. De otra parte, las muestras fabricadas con asfalto modificado con soya presentan los menores valores de RTI y se observa que a mayor temperatura de fabricación, menor resistencia. Con respecto a las mezclas con granulometría md10, las resistencias máximas fueron obtenidas por las probetas construidas con asfalto modificado con carnauba, sin importar la temperatura de fabricación. En el caso de las mezclas fabricadas con asfalto modificado con soya, estas tienen las menores resistencias.



**FIGURA 11.** RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN ESTADO HÚMEDO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MD10 Y MD12 (VÍRGENES Y MODIFICADAS CON CERAS), ENSAYADAS A 15°C

En la figura 12, se presentan las RC (relación en porcentaje de las RTI en estado húmedo y seco) de las mezclas estudiadas en la investigación y el valor mínimo (80%) para establecer la influencia del agua en las propieda-

des de las mezclas asfálticas. De los resultados se observa que la mezcla asfáltica fabricada con asfalto 60/70, granulometría md10 y compactada a 110 y 130°C, no cumple con la especificación (80% mínimo)[9]. Con respecto a las demás mezclas, sin importar la granulometría (md10 y md12) y temperatura de compactación (110, 130 y 150°C), todos sus valores son iguales o superiores al 80%, mostrando que el agua no afecta significativamente su comportamiento. Se resalta que los valores mayores de la resistencia conservada se obtienen para muestras compactadas a 150°C, evidenciando que presentan mayor cohesión y adhesión.

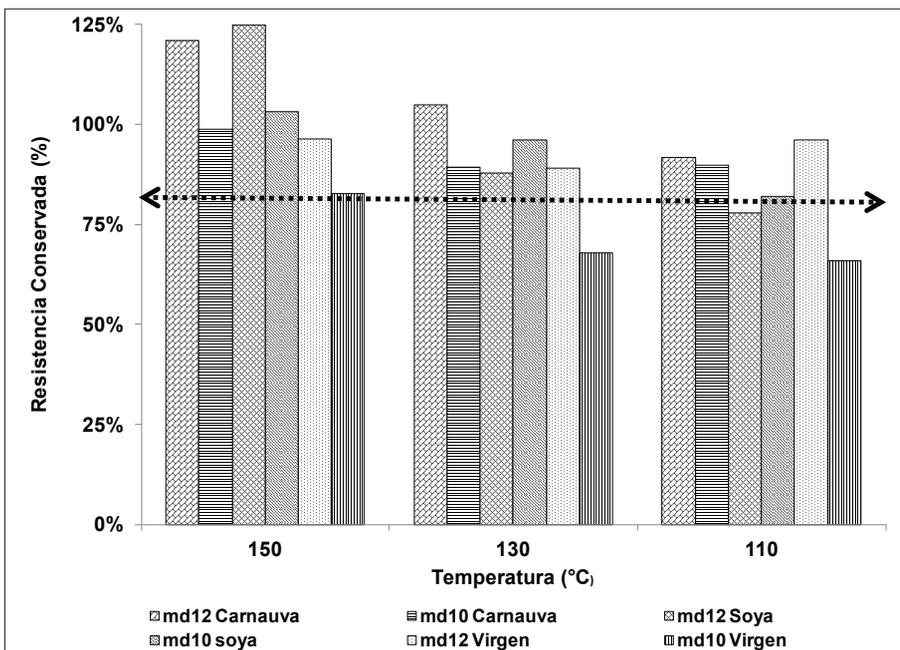


FIGURA 12. RESISTENCIA CONSERVADA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MD10 Y MD12 (VÍRGENES Y MODIFICADAS)

En la figura 13, se muestra el Mr de las mezclas asfálticas con granulometría md10, donde se observa que sin importar la frecuencia, las mezclas fabricadas a 110°C con carnauba y soya, presentan los valores más altos de módulo. Así mismo, la mezcla convencional (sin modificar) tiene los módulos menores. De otra parte, las mezclas modificadas y fabricadas a

130°C, tienen módulos entre la mezcla convencional y las compactadas a 110°C. Es importante resaltar que el incremento del módulo de las mezclas modificadas y compactadas a 110°C con respecto a la muestra patrón (mezcla convencional, compactada a 150°C y con asfalto 60/70), es del 140% para las frecuencias altas (20 Hz.) y de 300% para las bajas (0.33 y 0.5 Hz.).

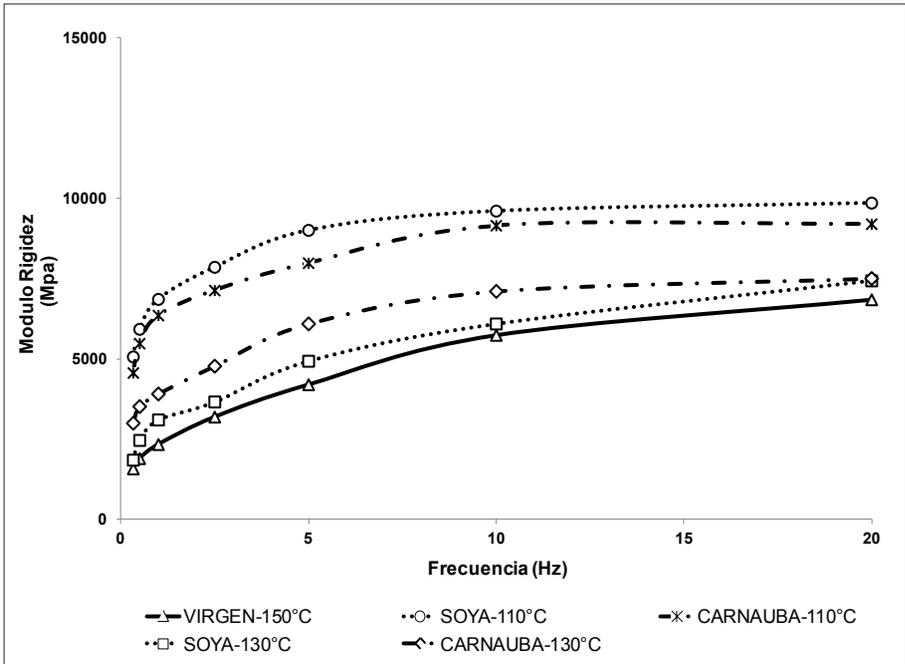


FIGURA 13. MÓDULO RESILIENTE VS. FRECUENCIA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MD10 MODIFICADAS CON CERAS Y SIN MODIFICAR Y ENSAYADAS A 15°C.

En la figura 14, se presenta el comportamiento de los Mr de las mezclas asfálticas md12, fabricadas que asfalto modificado y sin modificar. De los resultados se evidencia que fabricar mezclas asfálticas modificadas con soya a 110 o 130°C, no cambia significativamente los módulos con respecto a la muestra patrón (mezcla convencional md12 y con asfalto 60/70). De otra parte, las muestras fabricadas con asfalto modificado con carnauba, presentan mayores valores de módulo, sin importar la frecuencia del ensayo. Así mismo, las mezclas hechas con el asfalto modificado con carnauba y fabricadas a 130°C, tiene los mayores valores de módulo, alcanzando un

incremento cercano al 130% a frecuencias altas y de 180% a frecuencias bajas con respecto a la muestra patrón.

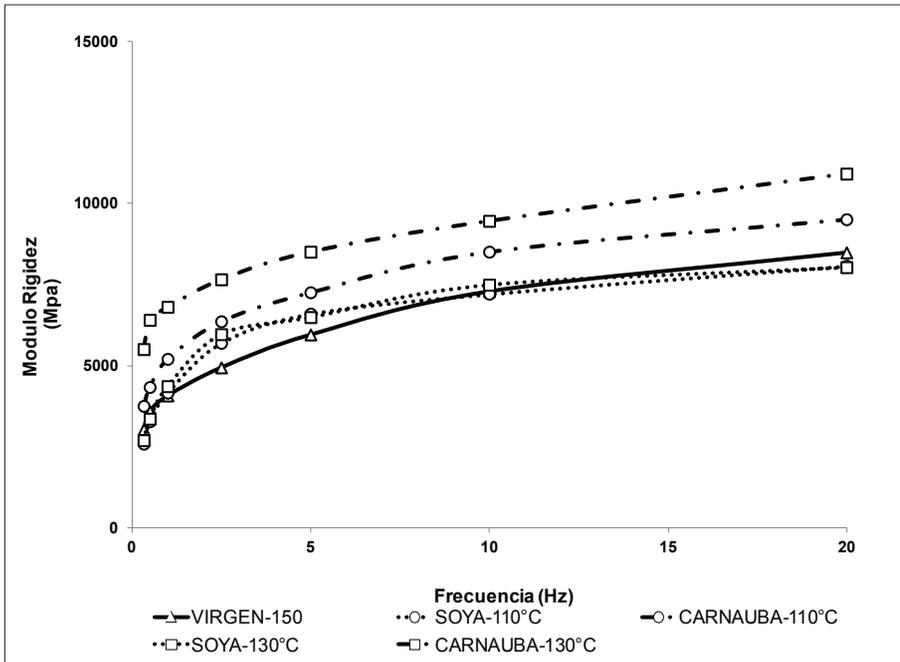


FIGURA 14. MÓDULOS RESILIENTES VS. FRECUENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MD12 FABRICADAS CON ASFALTOS MODIFICADOS CON CERAS Y SIN MODIFICAR Y ENSAYADAS A 15°C.

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados de los ensayos ejecutados en la investigación a las mezclas con asfaltos modificadas con ceras (soya y carnauba) y fabricadas a diferentes temperaturas (110, 130 y 150°C), se pudo concluir que las ceras de soya y carnauba adicionadas por peso al 2 y 5% en el asfalto 60/70 respectivamente, modifican la viscosidad del asfalto y permite reducir las temperaturas de fabricación y compactación de las mezclas asfálticas entre 20 y 40°C. Este procedimiento reduce los gases de efecto invernadero y ahorra significativamente combustible. Se resalta que el mejor comportamiento fue para la cera carnauba. De otra parte, los resultados de las RTI

en estado seco y húmedo mostraron que las mezclas asfálticas fabricadas con asfaltos modificados, presentan un incremento entre el 10 y 35% con respecto a la muestra patrón, evidenciando en un diseño de pavimentos una disminución en los espesores de la capa flexible.

Con respecto a la susceptibilidad al agua de las mezclas modificadas, se pudo establecer a partir de la RC que todas cumplen con los requisitos de la norma (80% mínimo), más aún, presentan magnitudes superiores en un 40%, especialmente las fabricadas a 130 y 150°C. Finalmente, el comportamiento dinámico observado en las mezclas, evidenció que modificar los asfaltos con las ceras (soya y carnauba) y compactarlas a 110 y 130°C, incrementa los módulos con respecto a la mezcla patrón entre un 10 y 30%, lo cual implica una reducción significativa en los espesores de las capas de pavimento.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen la Universidad Militar Nueva Granada, a la Universidad del Norte y a la Universidad del Magdalena por el tiempo dado a la realización de la investigación. Asimismo, de manera especial agradecen a los Laboratorios de Ingeniería Civil y al Grupo de Geotecnia de la Universidad Militar Nueva Granada por la ayuda brindada en la ejecución de los ensayos de laboratorio.

### **REFERENCIAS**

- [1] H. Bahia, D. Hanson, M. Zeng, H. Zhai, M. Khatri and M. Anderson. *Characterization of modified asphalt binders in Superpave mix desing*. Transportation Research Board. National Cooperative Highway Research Program. Report 459. Washington, D.C. 2001
- [2] L. M. Pérez. *Comportamiento de las "mezclas templadas" en obra comparativa frente a una mezcla convencional*. VIII Congreso Nacional FIRMES. Asociación Nacional de la Carretera. Valladolid, España. 2008.
- [3] O. Reyes Ortiz *et al.* *El proyecto FENIX en la UPC. Mezclas semicalientes*. Memorias del XV Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto. Portugal, 2009
- [4] S. Gil *et al.* *Estudio de los aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperaturas*. Asociación Española de mezclas Asfálticas. Comunicación 24. pp. 267-281. 2009.
- [5] Reyes, O. *Cambios dinámicos y mecánicos de una mezcla asfáltica densa por las propiedades del asfalto y la energía de compactación*. Revista Ingeniería y Desarrollo. vol. 26. pp. 140-155. 2009

- [6] S.Gil. *Estudio de ligantes modificados con ceras mediante técnicas reológicas y calorimétricas*. Revista Carreteras. Revista Técnica de la Asociación de la Carretera. . pp. 6-27. 2011
- [7] A. Zelalem and B. Amit. *Binder rheology and performace in warm mix asphalt*. Center for Transportation Research The University of Texas at Austin. Report HWA/TX-12/0-6591-2. Aug. 2012.
- [8] Muñoz, Villegas Nelson. Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción. *Estudio de aditivos naturales para la reducción de las temperaturas de fabricación y colocación de las mezclas en caliente*. VIII Conf. Científica de la construcción. Habana, 2010.
- [9] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS - INVÍAS. *Especificaciones generales de construcción de carreteras y Normas de ensayo para materiales de carreteras*. 2007.
- [10] INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO - IDU. *Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá D.C.*, 2006.
- [11] ASTM International. Norme C-127, C-128, C 535, D-127, D 5-97, D 113-99, D 2170 - 95, D 36-95, D 3143 - 98, D 1321. *Annual Book of ASTM Standards*, West Conshohocken.2010.
- [12] Empresa Colombiana de Petróleos - ECOPETROL. *Cartilla práctica para el manejo de los asfaltos colombianos*. Instituto del petróleo. 1999.