

IAG82-01-2013
MODIFICACIÓN DE ASFALTOS COLOMBIANOS CON CERAS
NATURALES Y SU EFECTO EN LAS MEZCLAS
ASFALTO DE MODIFICAÇÃO COLOMBIANA, COM CERAS NATURAIS
E SEU EFEITO SOBRE MISTURAS

Oscar Javier Reyes-Ortiz
Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, D.C., Colombia
Oscar.reyes@unimilitar.edu.co

Allex Alvarez-Lugo
Universidad del Magdalena
Santa Marta, Colombia
allexalvarez@yahoo.com

Luis Guillermo Fuentes Pumarejo
Universidad del Norte
Barranquilla, Colombia
lfuentes@uninorte.edu.co

Resumen

El objetivo principal de la investigación fue modificar asfaltos colombianos con ceras naturales para reducir la temperatura de fabricación de mezclas asfálticas y establecer la influencia en su comportamiento mecánico y dinámico. Las mezclas asfálticas estudiadas corresponden a las curvas granulometrías md-10 y md-12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) en su franja media. El estudio inicio 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 asfálticas. 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.

Resumo

O principal objetivo deste estudo foi modificar asfaltos colombianos ceras naturais para reduzir a temperatura de fabrico e para estabelecer a influência no comportamento mecânico dinâmico. As misturas estudadas curvas correspondem aos tamanhos de grão MD-10, MD-12

Instituto de Desenvolvimento Urbano (IDU) na faixa mediana. O estudo iniciou-se com a caracterização dos materiais utilizados (granular, asfalto e ceras naturais), seguido de determinação da percentagem de adição de ceras e o conteúdo de asfalto ótima para a fabricação de misturas de asfalto. Fabricada e subsequentemente misturas de asfalto compactado em 110, 130 e 150 ° C, para avaliar o efeito do asfalto modificado e do comportamento dinâmico-mecânica. Os ensaios utilizados para medir as propriedades de misturas asfálticas foram resistência à tração, resistência preservada módulos resilientes. Análise dos resultados estabeleceram que as ceras naturais utilizados reduzir a viscosidade do asfalto e, assim, as temperaturas de fabrico e compactação das misturas, reduzindo consideravelmente o consumo de potência e a geração de gases de efeito de estufa. Além disso, foi estabelecido que as propriedades mecânicas e dinâmicas estudadas misturas de asfalto asfalto modificado com ceras são semelhantes às misturas convencionais, que cria a possibilidade de aplicação e utilização.

INTRODUCCION

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 (Anderson, M, 2012). Este proceso conlleva a un gran consumo de combustibles, que se ve reflejado en el aumento de los costos de fabricación, además de la producción de un elevado porcentaje de contaminantes a la atmosfera como los hidrocarburos policíclicos aromáticos, el Dióxido de Nitrógeno (NO₂), el Dióxido de Azufre (SO₂) y el Dióxido de Carbono (CO₂). Este problema ha conllevado a la industria asfáltica a 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 (Reyes et al, 2013) (Alvarez et al, 2012).

Las mezclas asfálticas tibias surgen como respuesta al consumo elevado de energía de las mezclas convencionales; permitiendo que el mezclado, compactación y colocación en obra se realice 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 reducción de costos, de emisiones y de consumo energético (Figura 1) (Reyes et al, 2009) 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 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) (Gil, S et al, 2009)

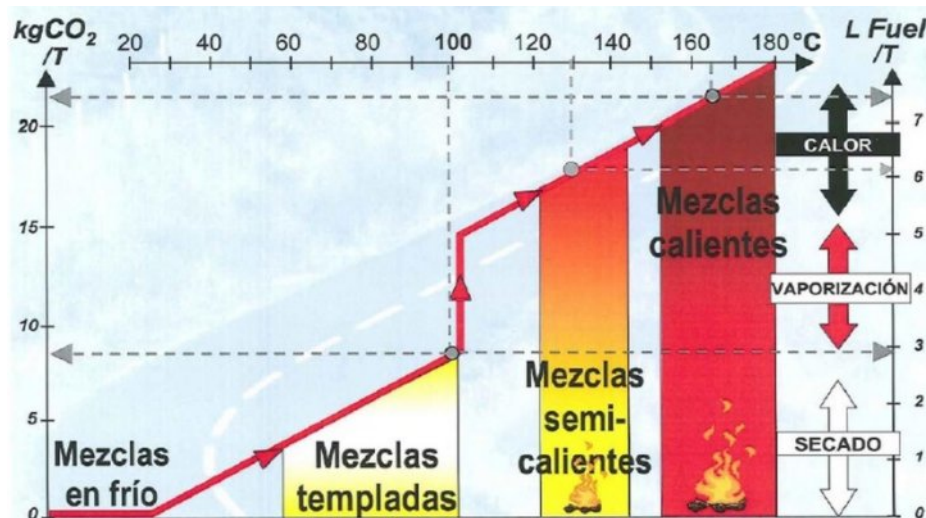


Figura 1. Temperatura de fabricación, consumo de combustible y cantidad de emisiones de gases efecto invernadero (Reyes et al, 2013)

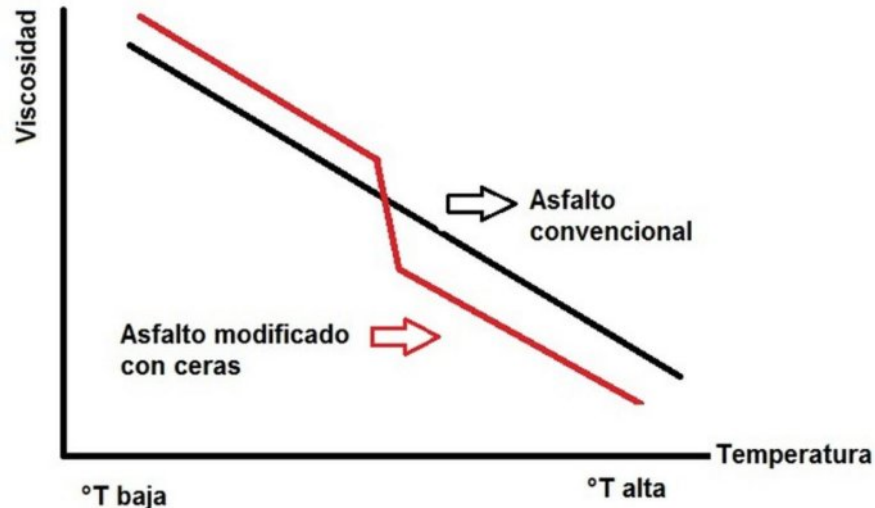


Figura 2. Comportamiento de la viscosidad del asfalto en función de la temperatura (Gil et al, 2009)

Reyes et al. (2009) adelantaron dentro del Proyecto “FENIX” 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 y posteriormente, fabricar mezclas asfálticas para evaluar sus propiedades mecánicas y dinámicas. Los resultados obtenidos establecieron que existe un comportamiento de las mezclas modificadas similar a las mezclas convencionales en cuanto a resistencia a la tracción directa, módulo dinámico y leyes de fatiga

González et al (2010) 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

Basados en los estudios desarrollados en el mundo 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 colombianos con ceras naturales y su influencia en el comportamiento mecánico y dinámico de mezclas asfálticas con granulometría md10 y md12 del IDU.

METODOLOGÍA Y MATERIALES

La metodología usada 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 de la investigación mediante la metodología Marshall 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).

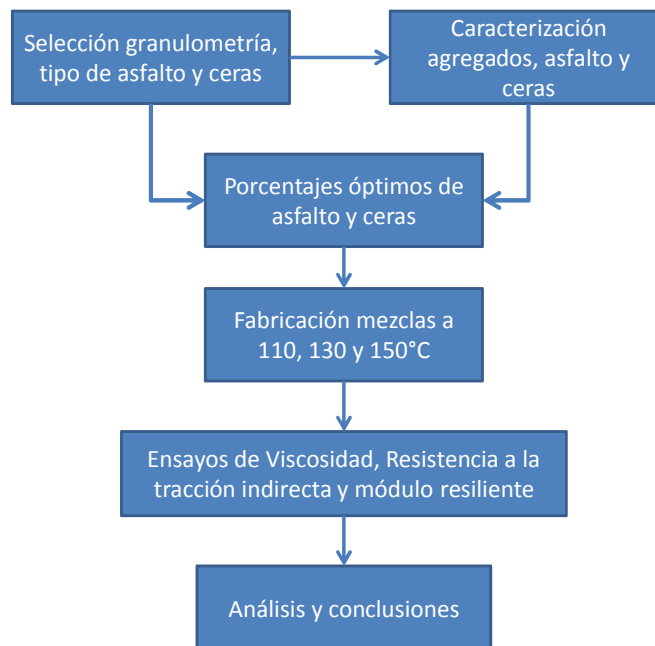


Figura 3. Diagrama de Metodología de la investigación

Las granulometrías usadas en la investigación son las establecidas en la construcción de pavimentos en la ciudad de Bogotá, según las especificaciones del Instituto de Desarrollo Urbano, IDU y corresponden a las denominadas md10 y md12 en su parte media (Figura 4).

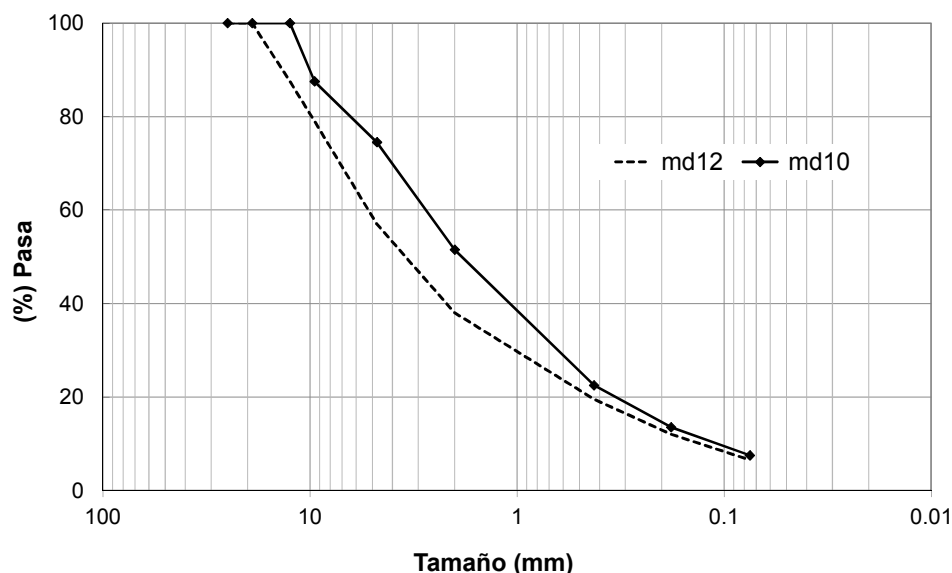


Figura 4. Curvas Granulométricas, mezcla caliente md10 y md12 del Instituto de Desarrollo Urbano.

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

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
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 cuyas características se muestran en la Tabla 2

Tabla 2. Características del cemento asfáltico

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

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

Tabla 3. Características de las ceras.

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

Para determinar los porcentajes óptimos de cera para modificar el asfalto 60/70 utilizado en la investigación, se inicio adicionando por peso la cera al asfalto entre el 1 y 5%. A cada una de las mezclas obtenidas, se le realizaron los ensayos de viscosidad con el DSR a diferentes temperaturas, obteniéndose de esta manera el 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.

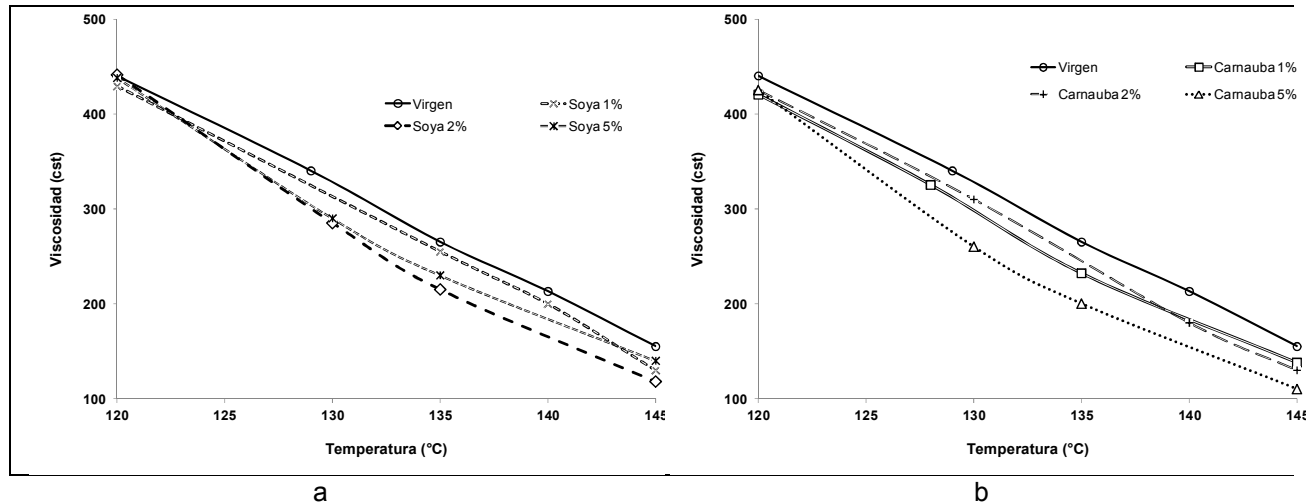


Figura 5 a y b. Viscosidad vs. Temperatura del asfalto modificado con Soya y carnauba.

ANÁLISIS DE DATOS

Definidas las granulometrías de la investigación (md10 y md12) en la curva media 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, el cual fue establecido en 6%.

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 6a se presenta la resistencia a la tracción indirecta (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.

La RTI en estado húmedo de las mezclas asfálticas estudiadas, se observan en la Figura 6b. Las curvas evidencian que la mezcla con carnauba y granulometría md12, presenta las mayores magnitudes, irrelevante 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.

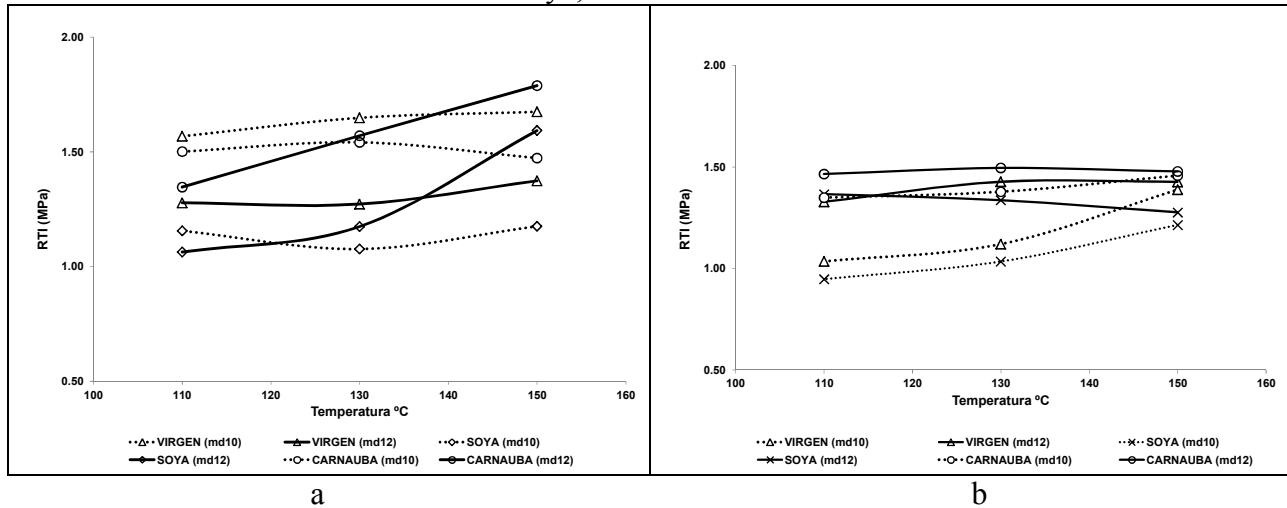


Figura 6. Resistencia a la tracción indirecta en estado seco (a) y húmedo (b) de mezclas asfálticas md10 y md12 (vírgenes y modificadas con ceras).

En la Figura 7, se presentan las RC (relación en porcentaje de las RTI en estado húmedo y seco) de las mezclas empleadas en la investigación y el porcentaje calculado es un criterio para establecer la influencia del agua en las propiedades de las mezclas asfálticas, según normas del INVIAS e IDU. 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). 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.-.

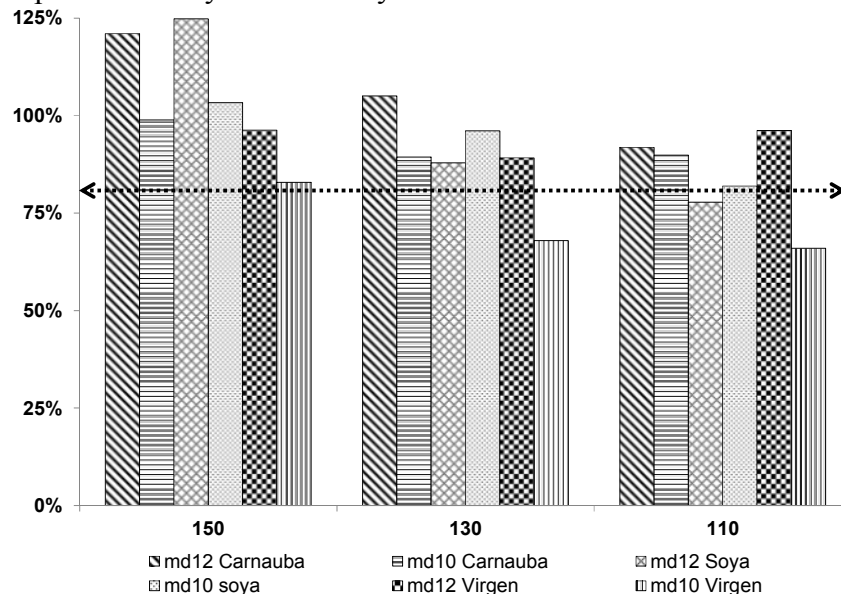


Figura 7. Resistencia conservada de mezclas asfálticas md10 y md12 (vírgenes y modificadas).

En la Figura 8a, se muestra el módulo resiliente (M_r) 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.).

En la Figura 8b, se presenta el comportamiento de los M_r 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.

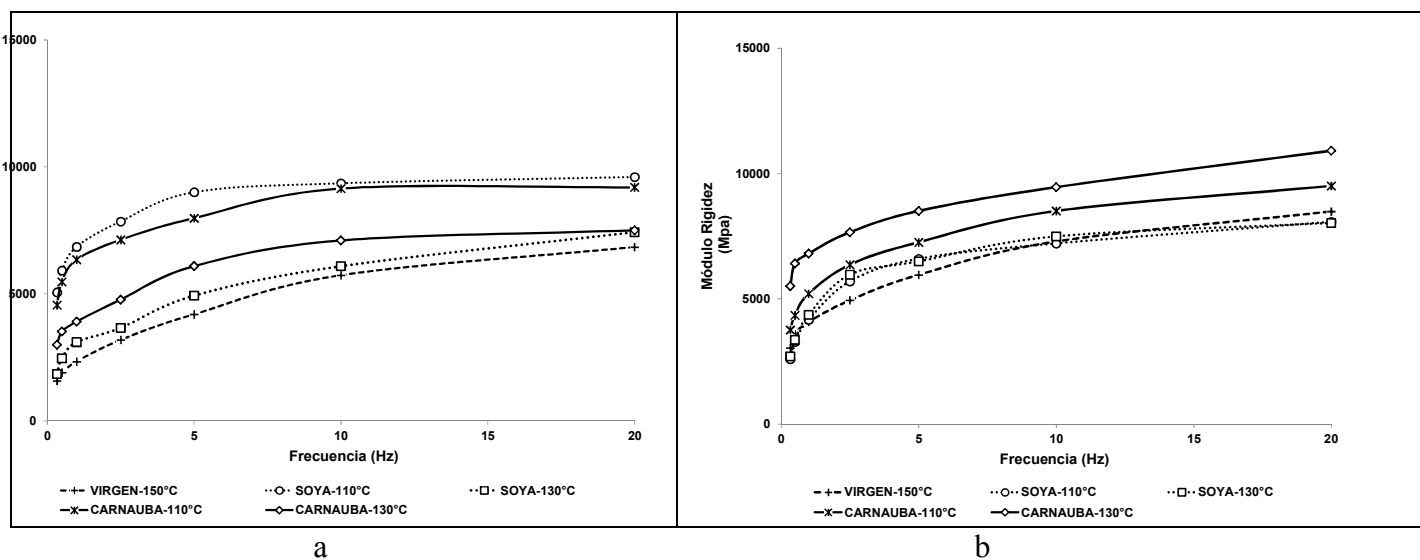


Figura 8 a y b. Módulos resilientes vs. Frecuencia de mezclas asfálticas md10 (a) md12 (b) fabricadas con asfaltos modificados con ceras y sin modificar.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados de los ensayos ejecutados a las mezclas asfálticas fabricadas a diferentes temperaturas (110, 130 y 150°C) y modificadas asfalto con ceras (soya y carnauba), se puede concluir:

- La cera extraída de la soya y adicionada por peso al 2% en el asfalto 60/70, modifica su viscosidad y permite reducir las temperaturas de fabricación y compactación, así mismo, la cera tipo carnauba adicionada al 5%, genera el mismo efecto.

- El asfalto modificado con ceras de soya o carnauba, reduce la temperatura de fabricación y compactación entre 20 y 40°C, disminuyendo el consumo de energía y gases de efecto invernadero en la creación de mezclas asfálticas.
- La resistencia a la tracción indirecta en estado seco de las mezclas asfálticas fabricadas con asfalto modificado y asfalto 60/70, son muy similares para las tres temperaturas ensayas (110, 130 y 150°C) y las dos curvas granulométricas utilizadas (md10 y md12). Sin embargo, el mejor comportamiento lo presenta la mezcla modificada con carnauba.
- La mayor resistencia a la tracción indirecta en estado húmedo corresponde a las mezclas modificadas con carnauba, sin importar la temperatura de fabricación. De otra parte, la mezcla con granulometría md10 y modificada con soya, tiene las resistencias más bajas, sin importar la temperatura de fabricación, sin embargo, sus valores son muy cercanos a la muestra patrón (mezcla md10 con asfalto 60/70).
- La resistencia conservada de las mezclas asfálticas fabricadas con asfalto modificado y compactadas a 110, 130 y 150°C, no presentan susceptibilidad al agua según los resultados obtenidos. Así mismo, se evidencia que los valores límites son sobrepasados en más de un 40%. De otra parte, se observa que la mezcla asfáltica con granulometría md10, asfalto 60/70 y fabricada a 130 y 110°C, no cumplen las especificaciones, es decir, tiene un valor inferior al 80%.
- Los módulos resilientes de las mezclas asfálticas con granulometría md10, tienen un comportamiento muy favorable para las modificaciones del asfalto con carnauba y soya a 110°C. Los módulos de las mezclas fabricadas a 130°C (modificadas con soya y carnauba), tienen valores muy cercanos a la muestra patrón, sin embargo son levemente mayores, evidenciando un mejor comportamiento.
- Con respecto a los módulos resilientes en estado seco de las mezclas con granulometría md12 estudiadas, se observa que el mejor comportamiento sin importar la frecuencia del ensayo es para la mezcla fabricada a 130°C y con cera de origen carnauba. De igual forma, se evidencia que los menores módulos son obtenidos para la muestra patrón (mezcla md10 y asfalto 60/70). Es importante resaltar, que los módulos de las mezclas fabricadas con asfalto modificado con soya y hechas a 110 y 130°C, presentan valores muy similares que la muestra patrón.
- Con los resultados de viscosidad, resistencia a la tracción indirecta en estado seco y húmedo, la resistencia conservada y los módulos resilientes, se puede concluir que es viable modificar el asfalto de penetración 60/70 y fabricar mezclas con granulometría md10 y md12, obteniendo las mismas propiedades o mejores, pero reduciendo la temperatura de fabricación, lo cual conlleva a reducción de costos en consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero. Estos resultados evidencian la viabilidad y aplicación de la modificación del asfalto utilizado.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Universidad Militar Nueva Granada, en especial al proyecto ING 1165. A la Universidad del Norte y a la Universidad del Magdalena por el tiempo dado a la realización de la investigación. Así mismo, de manera especial agradecen a las ingenieras Marcela Ulloa y Ana Milena Ramírez, a Laboratorios de Ingeniería Civil y al Grupo de Geotecnia por la ayuda brindada en la ejecución de los ensayos de laboratorio.

REFERENCIAS

- Alvarez, A., Reyes, O.y Carvajal. (2012), J. Internal structure of laboratory compacted warm-mix asphalt. Revista DYNA, N. 172. Pp 38-45.
- Anderson, M. (2012) Laboratory mixing and compaction temperatures for asphalt binders.North Central Asphalt User Producer Group Meeting.
- 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. (2010) Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken.
- Empresa Colombiana de Petróleos - ECOPETROL. (1999) Cartilla práctica para el manejo de los asfaltos colombianos. Instituto del petróleo.
- Gil Redondo Santiago et al. (2009) Estudio de los aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperaturas. Asociación Española de mezclas Asfálticas. Comunicación 24.Pp 267-281.
- Gonzalez, M, Herrera, R. Vilelga, N. (2010) Adiciones al asfalto para mezclas semicalientes. Instituto Superior Politécnico Jose Antonio Echevarría. Facultad de Ingeniería. Trabajo de Diploma. La Habana, Cuba.
- INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO – IDU. (2005) Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá D.C..
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS – INVIAS. (2007) Especificaciones generales de construcción de carreteras y Normas de ensayo para materiales de carreteras.
- Reyes, Oscar, Fuentes, Luis, Moreno, Oscar. (2013). Comportamiento de mezclas asfálticas fabricadas con asfaltos modificados con ceras. Revista científica ingeniería y desarrollo. Vol 31. N1
- Reyes Ortiz, Oscar, Pérez, Félix, Miro, Rodrigo, Botella, Ramón y Amoros, José. (2009) El proyecto FENIX en la UPC. Mezclas semicalientes. Memorias del XV Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto. Portugal.