

**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**



**COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFALTICAS FABRICADAS CON  
ADICION DE CERAS NATURALES**

**CLAUDIA MARCELA ULLOA PEÑA  
ANA MILENA RAMIREZ OSPINA**

Auxiliar de Investigación

Ing. Oscar Javier Reyes Ortiz

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
PRESENCIAL  
BOGOTA D.C.  
2012**

# COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS FABRICADAS CON ADICIÓN DE CERAS NATURALES

## PERFORMANCE OF ASPHALT MIXES MADE WITH ADDED NATURAL WAXES

**O. J. Reyes Ortiz**

*Ing. Civil, MSc., Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Investigador grupo de Geotecnia.  
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia mezclas oscar.reyes@unimilitar.edu.co*

**C.M. Ulloa Peña**

*Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.  
u1100679@unimilitar.edu.co*

**A.M. Ramírez Ospina**

*Estudiante de Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.  
u1100675@unimilitar.edu.co*

### RESUMEN

El objetivo principal de la investigación fue establecer el comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica tibia, fabricada con asfalto modificado con ceras naturales. Las mezclas estudiadas tienen granulometrías MD-10 y MD-12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y fueron compactadas a las temperaturas de 110, 130 y 150 °C. La primera parte del estudio consistió en establecer el porcentaje óptimo de cera a adicionar al asfalto en función de su viscosidad. Posteriormente se fabricaron las mezclas con el óptimo de cera para determinar su comportamiento mecánico y dinámico con los ensayos de RTI en estado seco y húmedo así como el Modulo Resiliente.

Del análisis de los resultados se pudo determinar que el porcentaje óptimo fue de 2% para soya y 5% para carnauba. Del comportamiento mecánico para el ensayo RTI el que mejor se comporto fue MD-12 y con soya MD-12 y con carnauba MD-12.

**Palabras claves:** Mezclas tibias, Asfalto modificado, Mezclas asfálticas, Viscosidad.

### ABSTRACT

The main objective of the investigation was to determine the mechanical behavior of dynamic warm asphalt, modified asphalt made from natural waxes. The mixtures studied have particle sizes MD-10 and MD-12 Urban Development Institute (IDU) and were compacted at temperatures of 110, 130 and 150 ° C. The first part of the study was to establish the optimum percentage of wax to be added to asphalt in terms of its viscosity. Subsequently the mixtures were made with the best wax to determine the dynamic mechanical behavior and RTI tests in dry and humid and the resilient modulus.

Analysis of the results it was determined that the optimum percentage was 2% to 5% for soybean and carnauba. Mechanical behavior for testing RTI which was better behaved MD-12 and soy MD-12 and carnauba MD-12.

**Keywords:** Mixing warm, Modified Bitumen, Asphalt mixtures, viscosity.

## 1. INTRODUCCIÓN

La fabricación de mezclas asfálticas en caliente necesita de altas temperaturas (150°C-180°C), para evaporar el agua del granular y crear una viscosidad adecuada en el asfalto para que sea suficientemente manejable y fluido, lo cual conlleva a un gran consumo de energía, 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( NO<sub>2</sub>), el Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Este problema ha conllevado a la industria asfáltica a buscar, desarrollar e implementar nuevas alternativas y productos que disminuyan los efectos negativos ya mencionados.

Las mezclas asfálticas tibias o semicalientes surgen como respuesta al consumo elevado de energía, ya que permiten que el mezclado, compactación y colocación en obra de la mezcla asfáltica se realice a temperaturas inferiores a las mezclas convencionales, sin desmejorar las propiedades mecánicas y dinámicas de la misma, aportando beneficios como la reducción de costos, de emisiones y de consumo energético de combustible (Figura 1).

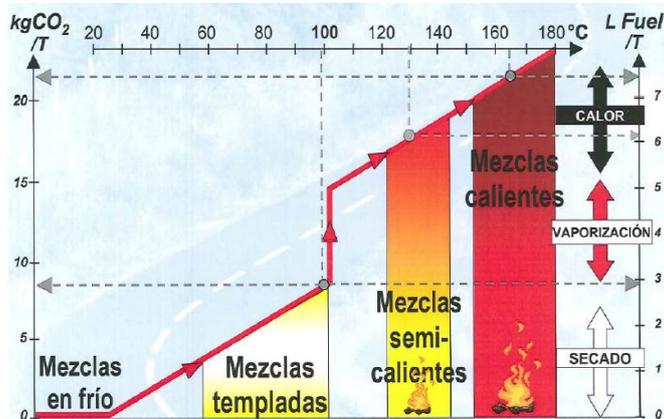


Figura 1.

Temperatura de fabricación, consumo de combustible y cantidad de emisiones de gases efecto invernadero. (PEREZ, 2008)

Para lograr estas reducciones se han realizado diferentes investigaciones en el mundo, en las que se han empleado diferentes agentes reductores de viscosidad entre los que se encuentran los de tipo ceras, de tal manera que al adicionarlos al cemento asfáltico se vea modificada la curva de Viscosidad vs Temperatura (Figura 2), de manera que se reduce la temperatura a la que el ligante alcanza la viscosidad de mezclado y compactación correspondientes a 170±20 cSt y 280±30 cSt, (ASPHALT INSTITUTE, 2006), sin desmejorar el comportamiento reológico y mecánico de la mezcla.

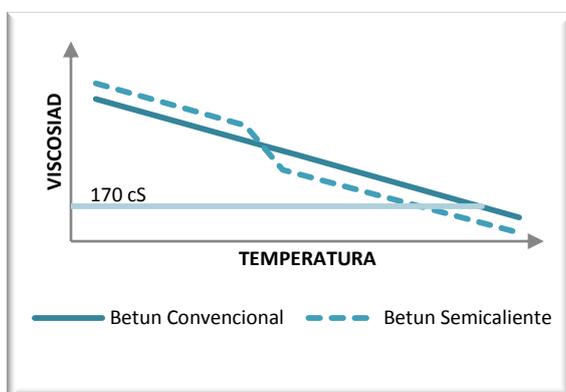


Figura 2.

Comportamiento de la viscosidad del Betún en función de la temperatura

Gil Redondo et al. (2009) por medio de ensayos con el Reómetro de corte dinámico (DSR: Dynamic Shear Reometer) y de la calorimetría diferencial de barrido (DSC: Differential Scanning Calorimery), dedujeron que las ceras empleadas (Ceras Slack, Fischer-Tropsch, Amidas de ácidos grasos y Ceras de polietileno) afectan el comportamiento reológico y las propiedades físicas del asfalto, de la siguiente manera: las ceras slack redujeron la viscosidad del ligante a medida que se reducían las temperaturas de fabricación del aglomerado, lo que a su vez provocó 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.

Herrera et al. (2010) basaron su investigación en la modificación del asfalto por medio de la adición de cera cruda de caña, ya que los yacimientos de este tipo de ceras son una fuente potencial para la reducción energética en las fábricas de asfalto en Cuba. Realizaron diferentes muestras de asfalto con una variación en el porcentaje adicionado de ceras entre 1% y 4%, con el fin de determinar el porcentaje óptimo de cera, por medio del ensayo de viscosidad con Viscosímetro Rotacional Brookfield a temperaturas de 100, 135 y 160°C, obteniendo las curvas la Viscosidad vs Temperatura. A partir de estas establecieron que el porcentaje óptimo de cera está entre 1 y 2%, ocasionando una disminución de temperatura entre 5 y 9°C. Paralelamente estudiaron la variación de las propiedades reológicas de las mezclas asfálticas fabricadas con asfalto modificado con ceras de caña, los cuales fueron sometidos a envejecimiento por acción del aire y temperatura y realizaron diferentes ensayos como penetración, ductilidad, índice de penetración, punto de ablandamiento donde establecieron que el porcentaje óptimo de cera de caña es del 2%, ya que presenta mejor evolución reológico.

Reyes et al. basaron su investigación en la generación de mezclas semicalientes por medio de la reducción de la temperatura de fabricación y compactación del asfalto adicionándole ceras y tensoactivos. Como primera medida obtuvieron el porcentaje óptimo de ceras y tensoactivos para un asfalto 60/70, es cual varió entre el 0.1 y 4%; además se determinó la viscosidad rotacional para obtener una curva que relaciona la viscosidad rotacional con la temperatura. Con estos datos dedujeron que los asfaltos modificados con ceras y tensoactivos presentan un incremento de la viscosidad a temperaturas menores de 130°C y establecieron que el porcentaje óptimo de cera para realizar la mezcla semicalientes fue del 3%. La mezcla semicaliente fabricada con el asfalto modificado con ceras fue sometida al ensayo Fénix la cual presentó un incremento en la resistencia a la tracción directa e indirecta a una temperatura de compactación de 120 y 140 °C, a comparación de la mezcla caliente la cual es compactada a una temperatura de 155°C, lo cual genera un ahorro significativo de energía en el proceso de fabricación, compactación y extendido, así mismos disminuye la emisión de gases a la atmosfera.

Basados en los estudios desarrollados en el mundo y en la hipótesis de poder alcanzar la viscosidad de fabricación y mezclado de la mezcla asfáltica a temperaturas inferiores a las mezclas convencionales, el presente artículo muestra los resultados de la influencia en el comportamiento de mezclas asfálticas fabricadas con asfalto 60/70 modificado con la adición de ceras naturales.

## **2. METODOLOGÍA Y MATERIALES**

La metodología empleada en la investigación (Figura 4), inicia con la selección de la granulometría, el tipo de asfalto y ceras, seguida de la caracterización de los mismos.

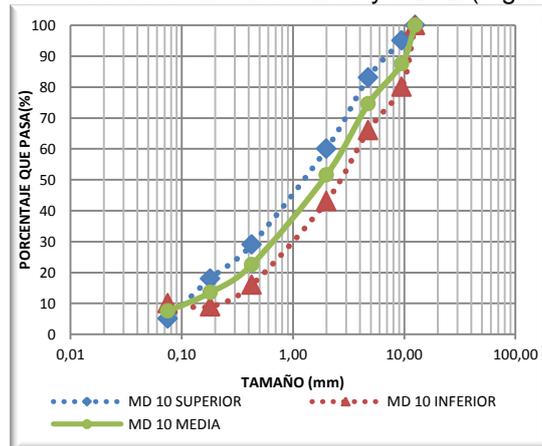
A partir de los ensayos de viscosidad se determinó el porcentaje óptimo a adición de cera al asfalto, con estos valores se fabricaron las briquetas y se les realizaron los respectivos ensayos reológicos.



**Figura 4.**  
Diagrama de Metodología de la investigación

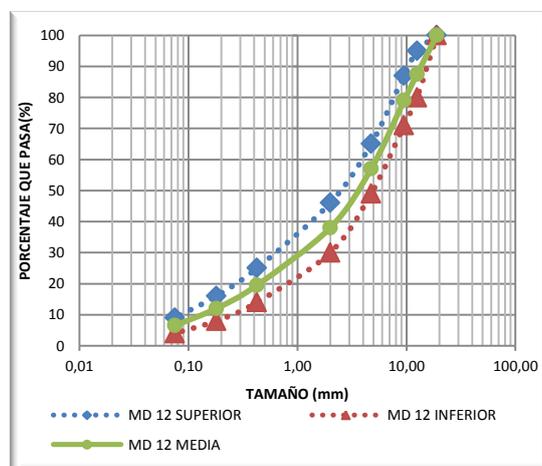
### 2.1. Selección de granulometría, tipo de asfalto y ceras

Las granulometrías empleadas en la investigación son las usadas 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 (Figura 5 y 6).



**Figura 5.**

Curva Granulométrica, mezcla caliente MD10 del Instituto de Desarrollo Urbano.



**Figura 6.**

Curva Granulométrica, mezcla caliente MD12 del Instituto de Desarrollo Urbano.

## 2.2. Caracterización de los Materiales.

En la Tabla 1, se resumen las características del agregado pétreo empleado para la elaboración de briquetas.

**Tabla 1.**  
Características del Agregado Pétreo

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	25,6%

Fuente: Presentación propia de los autores.

El cemento asfáltico empleado para la elaboración de las briquetas proviene de la refinería de Barrancabermeja de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), cuyas características se muestran en la Tabla 2 y corresponde al de penetración 60/70.

**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
Punto de ablandamiento	ASTM D 36-95	43°C
Punto de ignición y de llama	ASTM D 3143-98	220°C y 225°C

Fuente: Presentación propia de los autores.

Para el estudio se emplearon ceras vegetales cuyas características aparecen en la Tabla 3.

**Tabla 3.**  
Características de las ceras de Carnauba y Soya.

ENSAYO	RESULTADO
Punto de fusión de la cera de Carnauba	70 °C -90 °C
Punto de fusión de la cera de Soya	40 °C-60 °C

Fuente: Presentación propia de los autores.

## 2.3. Porcentaje óptimo de cera.

Para determinar el porcentaje óptimo de cada una de las ceras, se variaron los porcentajes de adición al asfalto entre el 1 y 5%. Con cada una de estas mezclas y con el asfalto virgen se realizaron los ensayos DSR a tres temperaturas en un rango de 130°C a 150°C, para con estos datos realizar la gráfica de Viscosidad vs Temperatura.

## 2.4. Comportamiento reológico de la mezcla asfáltica

Una vez obtenido el porcentaje óptimo de adición de ceras y con la granulometría seleccionada anteriormente, se procedió a la fabricación de briquetas con asfalto con cera y asfalto virgen, a tres diferentes temperaturas (110, 130 y 150°C). Por último se realizaron los ensayos reológicos a la mezclas asfáltica con asfalto modificado y convencional: RTI y Modulo Resiliente en estado seco, húmedo y envejecido (24 y 48 horas).

### 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Inicialmente se determinó la viscosidad del betún asfáltico modificado con cera de soya y carnauba, a diferentes porcentajes (1 al 5%), obteniendo así la influencia de este tipo de aditivos en la temperatura y la viscosidad. De esta manera se seleccionó como porcentaje óptimo de adición de ceras del 2% para soya y de 5% para carnauba, de tal manera que no se comprometieran las características mecánicas del asfalto.

### 4. CONCLUSIONES

Del estudio comparativo del comportamiento de las mezclas calientes y semicalientes fabricadas y compactadas a diferentes temperaturas y con asfalto modificado con adiciones de ceras naturales de soya y carnauba se puede concluir que:

- Fue posible conformar las curvas temperatura viscosidad, del asfalto virgen y modificados con cera de soya y carnauba, empleando el viscosímetro Saybolt-Furol, logrando así obtener la influencia que aportan los aditivos con la temperatura a la viscosidad.
- Las reducciones de las temperaturas de trabajo de las mezclas, se lograron con adiciones del 2% de cera de soya y 5% de carnauba.
- Es posible trabajar con granulometrías densas convencionales más usadas como son la MD-10 y MD-12 para la fabricación de mezclas asfálticas mejoradas con ceras, ya que se observa una clara mejoría en las propiedades mecánicas.
- La granulometría MD 12, sin importar el tipo de asfalto (con o sin adición de ceras) y temperatura de fabricación, presenta un mejor comportamiento mecánico y dinámico.
- Como se vio en este estudio es factible el uso de ceras naturales para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, y mejorar el comportamiento a deterioros comunes de los pavimentos.
- Fabricar y compactar mezclas tibias con los betunes modificados con ceras y a temperaturas entre 110 °C -150°C, permite alcanzar o superar la resistencia obtenida de la mezcla caliente.
- Con la incorporación de ceras a las mezclas asfálticas se tiene una mayor resistencia a la tracción, es decir, que aumentan las propiedades cohesivas de una mezcla, lo cual asegurará una buena resistencia al desgaste y al agrietamiento.
- Las mezclas con adición de ceras presentan mayores valores de Módulo Resiliente que las mezclas tradicionales, tanto en estado seco como húmedo, lo que conllevará a un ahorro por concepto de volumen de material en el diseño de una obra vial, ya que a mayores valores de módulo se traducen en menores espesores de la carpeta de rodadura.
- De los resultados obtenidos de este estudio se tiene que la mezcla modificada con adiciones de cera de carnauba presenta mejores valores de Tracción Indirecta, Índice de Resistencia Conservada, Módulo Resiliente.

### 5. AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la Universidad Militar Nueva Granada, específicamente a los Laboratorios de Ingeniería y el grupo de geotecnia quienes hicieron posible llevar a cabo esta investigación.

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASPHALT INSTITUTE. (2006). *Laboratory Mixing and Compaction Temperatures*. Boletín Técnico, Lexington.

PEREZ, L. M. (2008). COMPORTAMIENTO DE LAS "MEZCLAS TEMPLADAS" EN OBRA COMPARATIVA FRENTE A UNA MEZCLA CONVENCIONAL. *VIII Congreso Nacional FIRMES*, (pág. 29).

REYES, O., ALVAREZ, A., & BOTELLA, R. (Agosto de 2011). Study of a hot asphalt mixture response based on energy concepts. 8.

ROWE, G., GAYLON, B., GERAL, R., D'ANGELOS, J., ANDERSON, D., & MATTHEW, C. (14 de Mayo de 2009). "Laboratory Evaluation: Wax Additives in Warm-Mix Asphalt Binder. (T. p. Autores, Ed.)

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. Habana, 2010.

REYES Ortiz Oscar y otros. El proyecto FENIX en la UPC. Mezclas semicalientes. Memorias del XV CILA. Portugal, 2009

GIL Redondo Santiago y otros. Estudio de los aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperaturas. ASEFEMA, 2009.

SOTO José Antonio, y otros. Mezclas "semicalientes". Mezclas asfálticas fabricadas en centrales en caliente con emulsión. ASEFEMA.

ASOPAC, Cartilla del Pavimento Asfáltico.

Asphalt Institute. Asphalt Institute Technical Bulletin. "Laboratory mixing and compaction temperatures". Lexington, Kentucky USA, 2006.