

ESTUDIO DE LA COHESIÓN INDIRECTA DE ASFALTOS MODIFICADOS CON  
CERAS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS

JOHN ALEJANDRO CARDONA GÓMEZ  
ROGERS ANDRÉS LEGUIZAMÓN TARAZONA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
BOGOTÁ D.C.  
2013

ESTUDIO DE LA COHESIÓN INDIRECTA DE ASFALTOS MODIFICADOS CON  
CERAS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS

JOHN ALEJANDRO CARDONA GÓMEZ  
ROGERS ANDRES LEGUIZAMON TARAZONA

Trabajo de Grado para optar el título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos

Director:  
Ing. OSCAR REYES ORTIZ Ph.D

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
BOGOTÁ D.C.  
2013

Nota de aceptación

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Militar Nueva Granada para optar al título de Especialista en Ingeniería de Pavimentos

---

Firma del Director del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C., Septiembre de 2013

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD**

Mayor General (R) EDUARDO ANTONIO HERRERA BERBEL  
RECTOR GENERAL

Brigadier General (R) ALBERTO BRAVO SILVA  
VICERRECTOR GENERAL

Brigadier General (R) HUGO RODRÍGUEZ DURÁN  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Dra. MARTHA LUCÍA BAHAMÓN JARA  
VICERRECTORA ACADÉMICA

Dr. FERNANDO CANTOR RINCÓN  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIONES

Mayor General (R) JAIRO ALFONSO APONTE PRIETO  
DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA

Ingeniero MAURICIO PLAZA TORRES Ph.D  
DIRECTOR DE POSGRADOS FACULTAD DE INGENIERÍA

## **ADVERTENCIA**

LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA NO SE HACE RESPONSABLE DE LAS OPINIONES Y CONCEPTOS EXPRESADOS POR LOS AUTORES EN SUS RESPECTIVOS TRABAJOS DE GRADO; SOLO VELA PORQUE NO SE PUBLIQUE NADA CONTRARIO AL DOGMA NI A LA MORAL CATÓLICA Y PORQUE EL TRABAJO NO CONTENGA ATAQUES PERSONALES Y ÚNICAMENTE SE VEA EN ÉL, EL ANHELO DE BUSCAR LA VERDAD CIENTÍFICA. (ARTÍCULO 60 “DE LA RESPONSABILIDAD SOBRE LOS TRABAJOS DE GRADO” REGLAMENTO ESTUDIANTIL).

## CONTENIDO

	pág.
RESÚMEN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2. JUSTIFICACIÓN.....	13
3. OBJETIVOS.....	14
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4. MARCO TEÓRICO.....	15
4.1 ANTECEDENTES.....	15
4.2 METODOLOGÍA.....	16
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	19
5. CONCLUSIONES.....	28
6. REFERENCIAS.....	30
7. BIBLIOGRAFÍA.....	32

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Fabricación de Briquetas .....	18
Tabla 2 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba para granulometría md-10 T 110°C.....	19
Tabla 3 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba para granulometría md-10 T 130°C.....	20
Tabla 4 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba para granulometría md-10 T 150°C.....	20
Tabla 5 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera carnauba con granulometría md-12 T 110°C.....	23
Tabla 6 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba y granulometría md-12 T 130°C.....	23
Tabla 7 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba y granulometría md-12 T 150°C.....	24

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Viscosidad vs. Temperatura del asfalto modificado con Carnauba. ....	17
Figura 2 Curvas Granulométricas, mezcla caliente md 10 y md 12 del Instituto de Desarrollo Urbano IDU.....	17
Figura 3 Material con granulometría específica y cera carnauba .....	18
Figura 4 Condiciones iniciales y finales de briquetas.....	19
Figura 5 MAT con granulometría md-10 y asfalto 60/70 virgen y modificado con cera de carnauba .....	21
Figura 6 Comparación MAT con granulometría md-10 y asfalto 60/70 virgen y con cera de carnauba .....	22
Figura 7 MAT con granulometría md-12 y asfalto 60/70 virgen y modificado con cera de carnauba .....	24
Figura 8 Comparación MAT con granulometría md-12 y asfalto 60/70 virgen y con cera de carnauba .....	25
Figura 9 Comparación MAT con granulometría md-10, md-12 y asfalto 60/70 virgen y con cera de carnauba.....	26

## GLOSARIO

- **Cemento asfáltico:** son asfaltos refinados o una combinación de asfalto refinado y aceite fluidificante de consistencia apropiada para trabajos de pavimentación. Estos asfaltos refinados son muy duros y se les da la consistencia, mezclándolos con aceites o residuos provenientes de la destilación del petróleo de base asfáltica. Los cementos asfálticos se dividen en grados según su dureza o consistencia, que es medida mediante el ensayo de penetración medido en 1/10 mm, valor que es inverso a la dureza. De acuerdo a esto, los cementos asfálticos comúnmente usados son: CA 60 – 70 y CA 80 – 100, las dos cifras indican los límites máximos y mínimos de la penetración. [1]
- **Cera de carnauba:** la cera de carnauba se obtiene de las hojas de la palma *copernicia prunifera*. Esta palma crece en la región de Ceará, al noreste de Brasil. Una vez que se cortan las hojas, se secan y trituran para que la cera se desprenda. Esta cera se conoce también como la "reina de las ceras", por sus características e infinidad de aplicaciones. La cera de carnauba es reconocida por sus propiedades de brillo, combina dureza con resistencia al desgaste, su punto de fusión es de 78 a 85 °C. [2]
- **Cohesión:** es la capacidad del cemento asfáltico de mantener firmemente las partículas de agregado en el pavimento terminado. [3]
- **Mezcla Asfáltica Tibia (MAT):** las mezclas asfálticas tibias son elaboradas, colocadas y compactadas a temperaturas inferiores a las convencionales, exigiéndose que sus características y su comportamiento en servicio sean iguales o superiores a los de las mezclas convencionales. [4]
- **Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC):** se define como mezcla densa en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (incluido el polvo mineral) con granulometría continua y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante. [5]

## **RESÚMEN**

El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento de la cohesión indirecta de asfalto 60/70 virgen y modificado con cera de carnauba en mezclas asfálticas con granulometría tipo md-10 y md-12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). El contenido óptimo de cera carnauba fue adelantado en ensayos realizados por Reyes, Ulloa, Ramírez, para determinar el comportamiento mecánico de mezclas tibias modificadas con ceras, en el que concluyen que dicho porcentaje es del 5%.

## INTRODUCCIÓN

Las MAT son elaboradas, colocadas y compactadas a temperaturas inferiores a las convencionales (150°C-180°C), exigiéndose que sus características y su comportamiento en servicio sean iguales o superiores a las convencionales. En efecto, las mezclas tibias reducen considerablemente la emisión de CO<sub>2</sub> en el proceso de producción, con los beneficios que esta medida representa. Así mismo, existen otras interesantes ventajas, entre las que se destacan: la disminución del envejecimiento o rigidización prematura del asfalto por la planta asfáltica, la reducción del riesgo de segregación térmica, la mejora en los tiempos para la compactación del material, entre otras, sin embargo, aún no se han obtenido resultados concluyentes a largo plazo debido a su reciente empleo, los principales avances, corresponden a experiencias llevadas a cabo en Europa y EEUU. [6]

Entre los beneficios de utilizar MAT se encuentran:

- Facilidad para compactar empleando menos esfuerzos y menor temperatura obteniendo valores de densidades muy cercanos a la densidad de diseño, lo cual ocasiona que se tenga mezclas asfálticas de alto desempeño.
- Facilidad para que la mezcla asfáltica sea transportada a grandes distancias de donde es producida. [6]

Es preciso anotar, que el utilizar MAT produce un beneficio para el medio ambiente, pues al calentar menos el asfalto se ahorra combustible reduciendo las emisiones de gases, siendo el principal el dióxido de carbono, directo responsable del calentamiento global.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo es el comportamiento de la cohesión indirecta de asfalto modificado con ceras en mezclas asfálticas tibias?

Uno de los principales problemas que se presenta hoy en día con respecto al medio ambiente es el calentamiento global, se debe principalmente a la emisión de dióxido de carbono, que según estudios realizados aporta cerca del 80% de las emisiones de gases totales. En tal sentido, la producción de MAC contribuye a la generación de estos gases, pues requiere de altas temperaturas de fabricación y compactación que generan contaminación del medio ambiente. Por tal razón, se debe buscar alternativas para construcción de vías con tecnologías que reduzcan el daño al medio ambiente y que a su vez garanticen durabilidad.

Con el presente estudio, además de establecer la disminución en la generación de gases que las MAT modificadas con ceras emiten al medio ambiente, debido a las temperaturas de fabricación de las mismas, también se determina el comportamiento de la cohesión indirecta del asfalto modificado con cera carnauba en MAT con granulometría md-10 y md-12.

Este estudio, se deja como base para futuras investigaciones que pretendan determinar la vida útil de este tipo de mezclas asfálticas y que permita establecer su efectividad en la reducción de temperatura empleada para la producción y compactación de éstas.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Los procesos de mezclado y compactación que emplean las MAC requieren altas temperaturas, por lo que la emisión de gases contaminantes es elevada para el proceso productivo, haciéndolo costoso y causante de un grave daño ambiental.

Como solución, se han desarrollado algunas tecnologías destinadas a la disminución de la temperatura mediante la reducción de viscosidad de los ligantes asfálticos. De esta manera, se han concebido las MAT, que además de generar ahorros en el consumo de combustible, reducen la emisión de los gases durante las operaciones de producción y compactación. [6]

Es preciso decir, que en las MAT fabricadas con asfalto modificado con cera de carnauba, se reduce la temperatura de producción y compactación de las mismas, y la emisión de gases al medio ambiente disminuye respecto a las MAC.

Con el fin de determinar el comportamiento de la cohesión indirecta, en el presente trabajo se pretende establecer y comparar tales resultados en asfaltos 60/70 virgen y modificado con cera carnauba para mezclas MAT con granulometría md-10 y md-12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Establecer de manera indirecta a partir de ensayos de desgaste en la Máquina de los Ángeles, la cohesión indirecta de asfalto modificado con cera carnauba y utilizados en mezclas asfálticas tibias.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar materiales tales como asfalto, cera, granulares.
- Establecer el porcentaje óptimo de adición de cera en el asfalto 60/70.
- Fabricar mezclas con granulometría md-10 y md-12 con asfalto modificado con cera de carnauba a temperaturas de 110°, 130° y 150°C.
- Establecer la cohesión indirecta del asfalto modificado con cera de carnauba en mezclas asfálticas tibias, mediante ensayos de UCL a diferente temperatura.
- Comparar la cohesión indirecta en asfaltos vírgenes y modificados con cera de carnauba utilizados en mezclas asfálticas tibias del estudio.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 ANTECEDENTES

Las MAT son fabricadas a menores temperaturas (130–150°C) que las MAC convencionales. Por tanto, en comparación con las MAC, las MAT ofrecen diferentes ventajas ambientales, económicas y de ingeniería. Sin embargo, aún se requiere investigación para identificar las propiedades, el desempeño y la respuesta de las MAT, dado que estas mezclas constituyen una tecnología relativamente nueva.

Recientemente la industria de la construcción, se ha enfocado en la reducción de las temperaturas en la producción y aplicación de las mezclas asfálticas. Típicamente la producción y aplicación de mezclas en caliente requiere que los materiales se calienten entre 135°C y 180°C. [6]

Los antecedentes cronológicos respecto a la investigación en MAT, tienen inicio en el año 1995, cuando Shell y Kolo Viedekke, iniciaron un programa en conjunto, para el desarrollo de un producto, y del proceso para la fabricación de mezcla agregado - asfalto a temperaturas más bajas; obteniendo mejores propiedades o equivalentes condiciones de desempeño, con relación a las mezclas tradicionales en caliente. [7]

Entre el año 1999-2001 se dan a conocer los reportes iniciales de las tecnologías de la mezcla tibia en el Congreso Eurasphalt/Eurobitume, el Fórum Alemán de Bitumen, Conferencia sobre Pavimentos Asfálticos en Sudáfrica, principalmente. [7]

En el año 2003, los estudios sobre mezclas tibias, son presentados en la Convención Anual de la Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico NAPA; El Centro Nacional para la Tecnología en Asfalto, investiga sobre los procesos de las mezclas tibias, Alpha-min (zeolite cristalino) y Sasobit (una cera de Fsher-Tropsch). La investigación es patrocinada por NAPA, Administración Federal de Carreteras FHWA, Eurovia (Aspha-min) y Sasol (Sasobit). [7]

En el año 2005, se crea el grupo de trabajo (TWG) de la Mezcla Asfáltica Tibia de NAPA-FHWA. El objetivo principal del trabajo es la implementación adecuada a través de recolección de datos y análisis, de un método genérico de especificaciones técnicas en WMA. [7]

En el año 2006, con base en la declaración de investigación de problemas, cuyo documento fue sometido en 2005 a evaluación por parte de la AASHTO, se define como de alta prioridad la destinación de fondos de la investigación en WMA. En el año 2007, AASHTO y FHWA, realiza visitas guiadas a experiencias en WMA, en Francia, Alemania y Noruega. [7]

Entre el año 2008 y 2012, se han realizado a nivel mundial diferentes tipos de investigaciones relevantes a las MAT, en Colombia especialmente se realizan investigaciones de nivel académico, por ejemplo la tesis de grado “Mezclas asfálticas producto de la combinación de técnicas en mezclas de alto módulo y mezclas tibias” [8]; la monografía “Mezclas Tibias: Una nueva tecnología para el mejoramiento de las mezclas asfálticas convencionales” [9]; el artículo científico “Comportamiento de mezclas asfálticas fabricadas con adición de ceras naturales” [10].

## 4.2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto, se fabricaron 48 briquetas con la metodología Marshall, y sometidas al ensayo de desgaste en la Máquina de los Ángeles, para determinar la cohesión indirecta del asfalto virgen y modificado con cera de carnauba.

Dentro de la presente investigación, se encuentra el análisis de briquetas fabricadas a diferentes temperaturas, para asfalto 60/70 virgen y modificado con cera de carnauba utilizados en MAT con granulometría md-10 y md-12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).

Durante el ensayo, las briquetas comienzan a perder por impacto y abrasión, los áridos más superficiales de ésta y luego se determina, tras un número de revoluciones, la pérdida de peso de la briqueta referida, en tanto por ciento, con respecto al peso inicial de esta. Condición que se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Dónde:

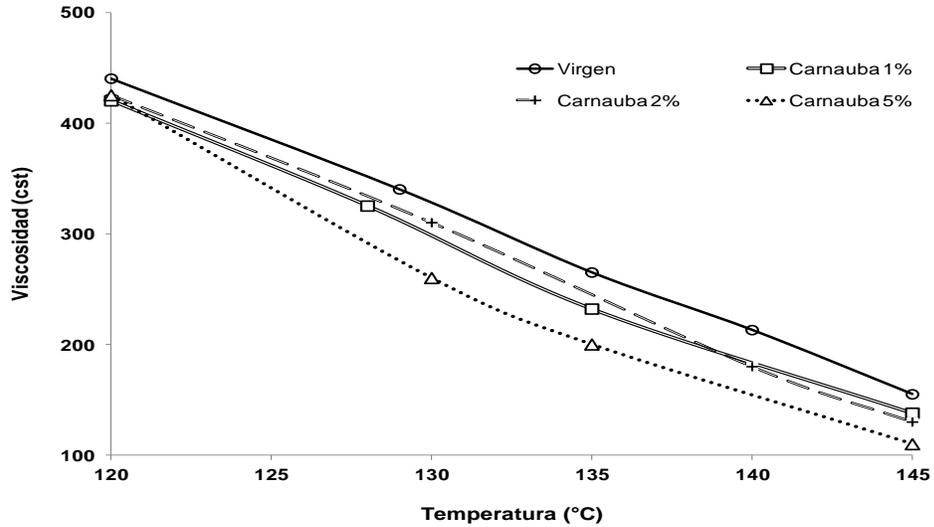
*P<sub>c</sub>* = pérdida al cántabro (%)

*P<sub>i</sub>* = peso inicial de la briqueta (g)

*P<sub>f</sub>* = peso final de la briqueta (g)

El procedimiento está basado en el ensayo Cántabro [11] de pérdida por desgaste, que consiste en introducir a la máquina de los Ángeles una briqueta tipo Marshall con granulometría específica y someterla al ensayo de desgaste sin ningún tipo de carga abrasiva, para valorar las propiedades fundamentales de los ligantes asfálticos, entre ellos cohesión, adhesión y envejecimiento. En esta investigación se cambió la granulometría a la estipulada en las MAC del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).

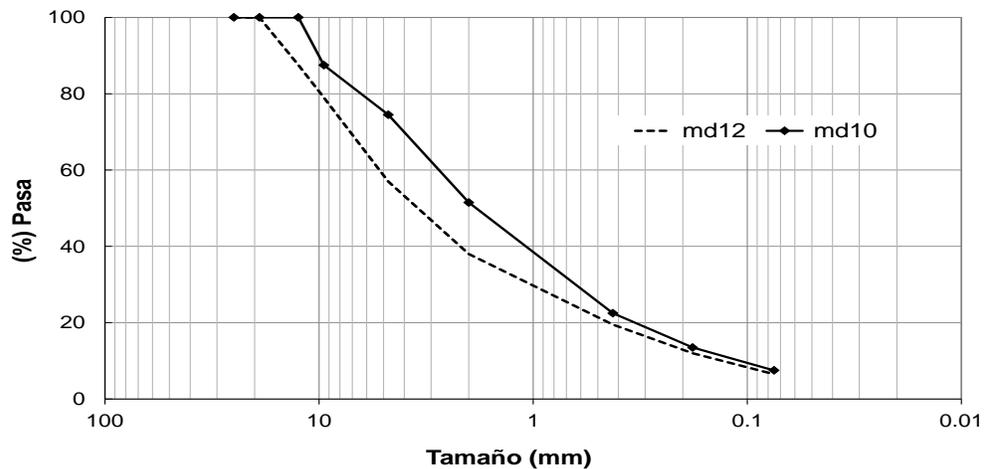
Reyes, et al/ adelantaron ensayos para determinar el comportamiento mecánico de mezclas tibias modificadas con ceras, en el que concluyen que el porcentaje óptimo de cera carnauba es del 5% de acuerdo con la Figura 1.



Fuente: Reyes O. et al [10]

**Figura 1 Viscosidad vs. Temperatura del asfalto modificado con Carnauba.**

El porcentaje óptimo de cera carnauba descrito anteriormente, corresponde a la granulometría dada según las especificaciones del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) que corresponden a las denominaciones md-10 y md-12, de acuerdo con la Figura 2.



Fuente: Especificaciones IDU [12]

**Figura 2 Curvas Granulométricas, mezcla caliente md 10 y md 12 del Instituto de Desarrollo Urbano IDU.**

Con base en dichos resultados, se toman como parámetros de diseño de las briquetas objeto de esta investigación, de acuerdo con lo especificado en la Tabla 1.

**Tabla 1 Fabricación de Briquetas**

Tipo de Asfalto	Cantidad de briquetas Temperatura a 110°C md-10	Cantidad de briquetas Temperatura a 110°C md-12	Cantidad de briquetas Temperatura a 130°C md-10	Cantidad de briquetas Temperatura a 130°C md-12	Cantidad de briquetas Temperatura a 150°C md-10	Cantidad de briquetas Temperatura a 150°C md-12
Asfalto virgen	4	4	4	4	4	4
Asfalto con adición de cera carnauba	4	4	4	4	4	4
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

Fuente: Autores

Para la presente investigación, son fabricadas 48 briquetas a temperaturas de 110°, 130° y 150°C, con caracterización de materiales que cumplen con granulometría md-10 y md-12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), con asfaltos vírgenes y modificados con cera de carnauba al 5% en mezclas asfálticas tibias.



**Figura 3 Material con granulometría específica y cera carnauba**



**Figura 4 Condiciones iniciales y finales de briquetas**

Fuente: Autores

Una vez extraídas las briquetas de la Máquina de los Ángeles, se observa la pérdida de masa de la mezcla asfáltica (árido y asfalto) debido a la pérdida de cohesión intergranular, producto del desprendimiento de los áridos.

De acuerdo con lo anterior, se determina la cohesión indirecta del asfalto virgen y modificado con cera de carnauba utilizados en MAT; analizado como porcentaje promedio de pérdida de las cuatro briquetas ensayadas para cada condición, con lo que se establece las curvas de temperatura de fabricación expresada en (°C) contra pérdida por desgaste expresado en porcentaje (%) para asfaltos 60/70 de acuerdo con las condiciones establecidas para el ensayo.

### 4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar los ensayos de desgaste en la Máquina de los Ángeles para cada una de las 48 briquetas según las condiciones descritas en la Tabla 1, se obtienen los resultados que se resumen en la Tabla 2 para asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba (5%) utilizado en MAT con granulometría md-10 para temperatura de fabricación de 110°C.

**Tabla 2 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba para granulometría md-10 T 110°C**

<i>Virgen</i>		<i>Con adición de cera de carnauba</i>	
Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)	Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)
110	8,52	110	10,33
	9,23		9,87
	10,45		11,38
	8,13		11,46

Fuente: Autores

En la Tabla 3, se resumen los resultados para asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba (5%) utilizado en MAT con granulometría md-10 para temperatura de fabricación de 130°C.

**Tabla 3 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba para granulometría md-10 T 130°C**

<b>Virgen</b>		<b>Con adición de cera carnauba</b>	
Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)	Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)
130	9,22	130	10,16
	10,81		7,98
	7,96		7,67
	6,57		11,20

Fuente: Autores

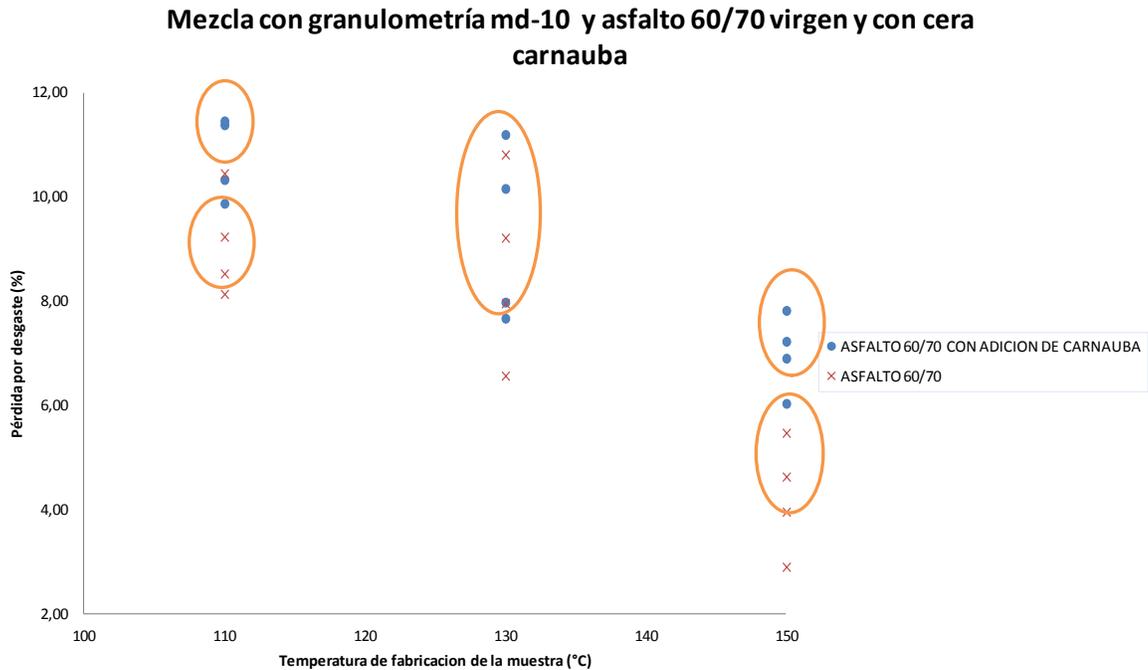
En la Tabla 4, se resumen los resultados para asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba (5%) utilizado en MAT con granulometría md-10 para temperatura de fabricación de 150°C.

**Tabla 4 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba para granulometría md-10 T 150°C**

<b>Virgen</b>		<b>Con adición de cera carnauba</b>	
Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)	Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)
150	4,63	150	7,23
	3,96		6,04
	5,47		7,82
	2,90		6,90

Fuente: Autores

De acuerdo con lo anterior, en la Figura 5, se observa gráficamente los resultados obtenidos según las condiciones establecidas.



Fuente: Autores

**Figura 5 MAT con granulometría md-10 y asfalto 60/70 virgen y modificado con cera de carnauba**

Los porcentajes de pérdida por desgaste que se encuentran en los límites superiores e inferiores con respecto a los demás resultados para cada uno de los ensayos, se descartó, considerando que puede alterar el comportamiento normal del ensayo, basados en parámetros estadísticos.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede determinar que en la MAT fabricadas con asfalto virgen a Temperatura de 110°C, la pérdida promedio por desgaste es de 8.63% luego de descartar el valor más alto que corresponde a 10.45%, que se considera fuera del rango con respecto a los tres valores restantes.

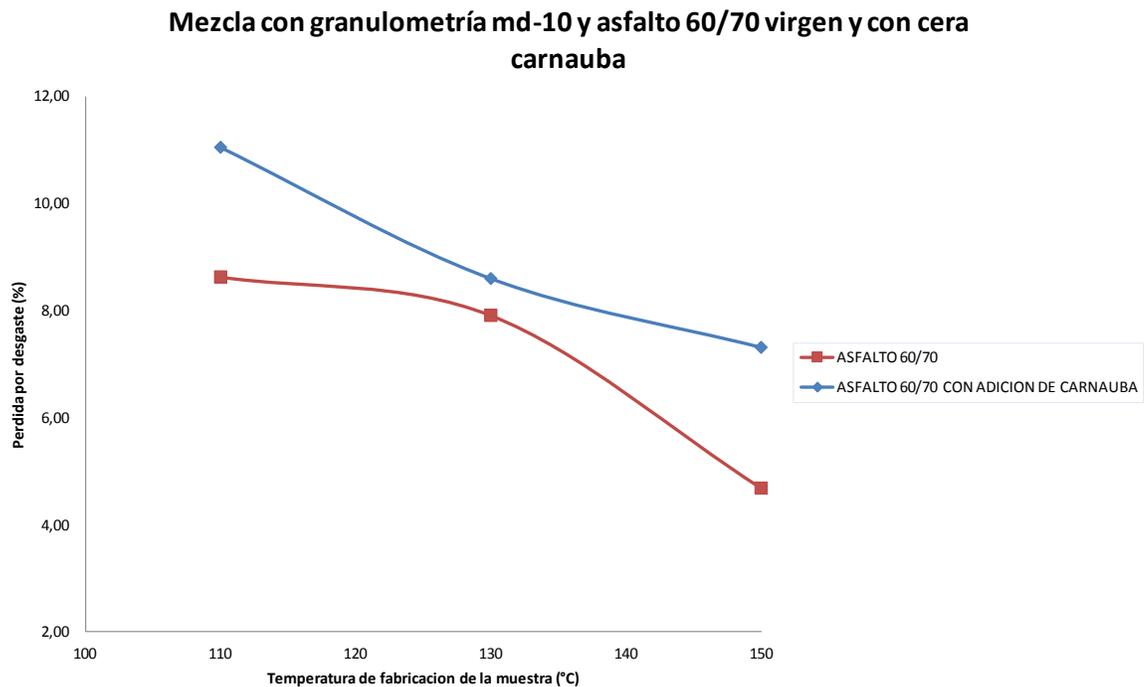
Para temperatura de 130°C, se puede determinar que la pérdida promedio por desgaste es de 7.91% luego de descartar el valor más alto que corresponde a 10.81% y para temperatura de 150°C, se puede determinar que la pérdida promedio por desgaste es de 4.69% luego de descartar el valor más bajo que corresponde a 2.90%, que se considera fuera del rango con respecto a los tres valores restantes.

Por otra parte, el comportamiento de las MAT con asfaltos modificados con cera de carnauba se resume así: para temperatura de 110°C, se puede determinar que la pérdida promedio por desgaste es de 11.06% luego de descartar el valor más bajo que corresponde a 9.87%, que se considera fuera del rango con respecto a

los tres valores restantes.

Para temperatura de 130°C, se puede determinar que la pérdida promedio por desgaste es de 8.60% luego de descartar el valor más alto que corresponde a 11.20% y para temperatura de 150°C se puede determinar que la pérdida promedio por desgaste es de 7.32% luego de descartar el valor más bajo que corresponde a 6.04%.

En la Figura 6, se presenta la comparación para el análisis de los resultados descritos anteriormente.



Fuente: Autores

**Figura 6 Comparación MAT con granulometría md-10 y asfalto 60/70 virgen y con cera de carnauba**

De acuerdo con la Figura No. 6, se observa que el porcentaje de pérdida de material por desgaste, es mayor en las MAT con asfaltos modificados con cera de carnauba para cada una de las temperaturas analizadas, obteniendo como mejor resultado la MAT con asfalto virgen fabricada a 150°C siendo la que menos desgaste presenta con un promedio de 4.69%; por el contrario, la mezcla más crítica o que más porcentaje de pérdida presenta es la mezcla con asfalto modificado con cera de carnauba fabricada a 110°C con un promedio de 11.06%.

Se presenta una pérdida de material por desgaste significativa comparando la mezcla con asfalto virgen contra la mezcla con asfalto modificado con cera de carnauba, valores entre el 1% y el 3% para cada temperatura en particular, en

todo caso la MAT con asfalto virgen presenta un mejor comportamiento en cuanto a cohesión indirecta se refiere.

Así mismo, se resume en la Tabla 5, para asfalto 60/70 virgen y con adición de cera carnauba para mezclas con granulometría md-12 para temperatura de fabricación de 110°C.

**Tabla 5 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera carnauba con granulometría md-12 T  
110°C**

<b>Virgen</b>		<b>Con adición de cera carnauba</b>	
Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)	Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)
110	7,70	110	11,00
	5,97		11,25
	8,46		19,06
	4,34		11,20

Fuente: Autores

En la Tabla 6 se resume los resultados para asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba para mezclas con granulometría md-12 para temperatura de fabricación de 130°C.

**Tabla 6 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba y granulometría md-12 T  
130°C**

<b>Virgen</b>		<b>Con adición de cera carnauba</b>	
Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)	Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)
130	6,19	130	9,74
	7,05		8,89
	5,34		7,93
	7,02		10,44

Fuente: Autores

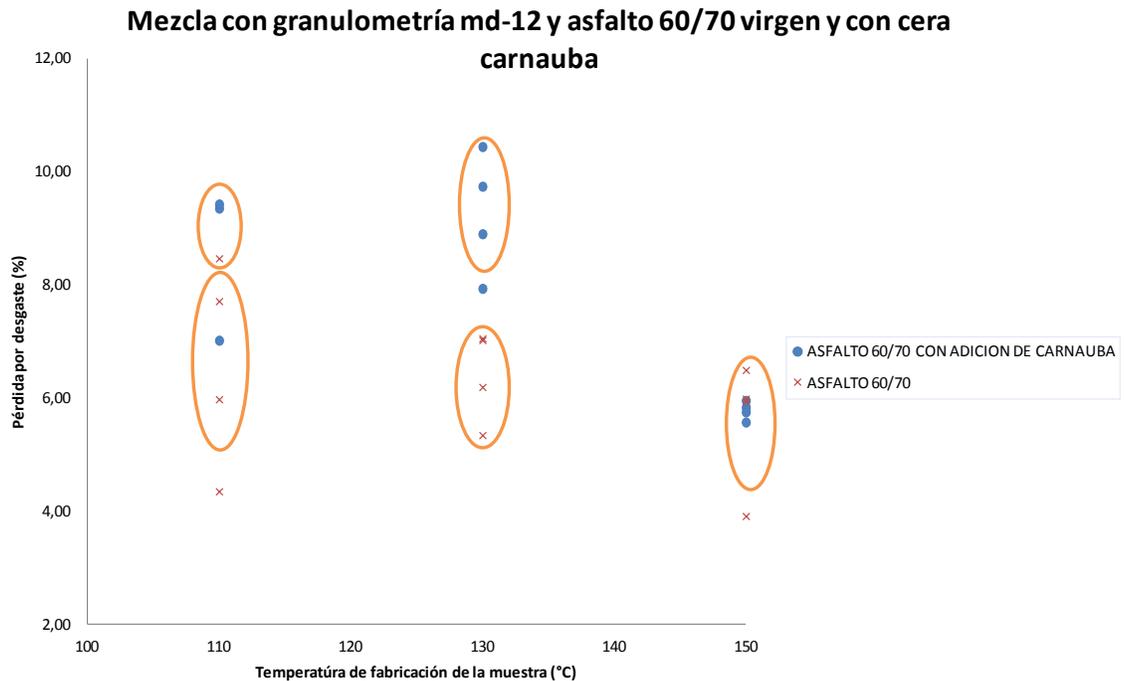
En la Tabla 7 se resume los resultados para asfalto 60/70 virgen y con adición de cera carnauba para mezclas con granulometría md-12 para temperatura de fabricación de 150°C.

**Tabla 7 Asfalto 60/70 virgen y con adición de cera de carnauba y granulometría md-12 T 150°C**

<i>Virgen</i>		<i>Con adición de cera carnauba</i>	
Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)	Temperatura de fabricación (°C)	Pérdida por desgaste (%)
150	3,90	150	5,83
	5,93		5,75
	5,98		5,95
	6,49		5,57

Fuente: Autores

De acuerdo con lo anterior, en la Figura 7, se observa gráficamente los resultados obtenidos para las condiciones establecidas.



Fuente: Autores

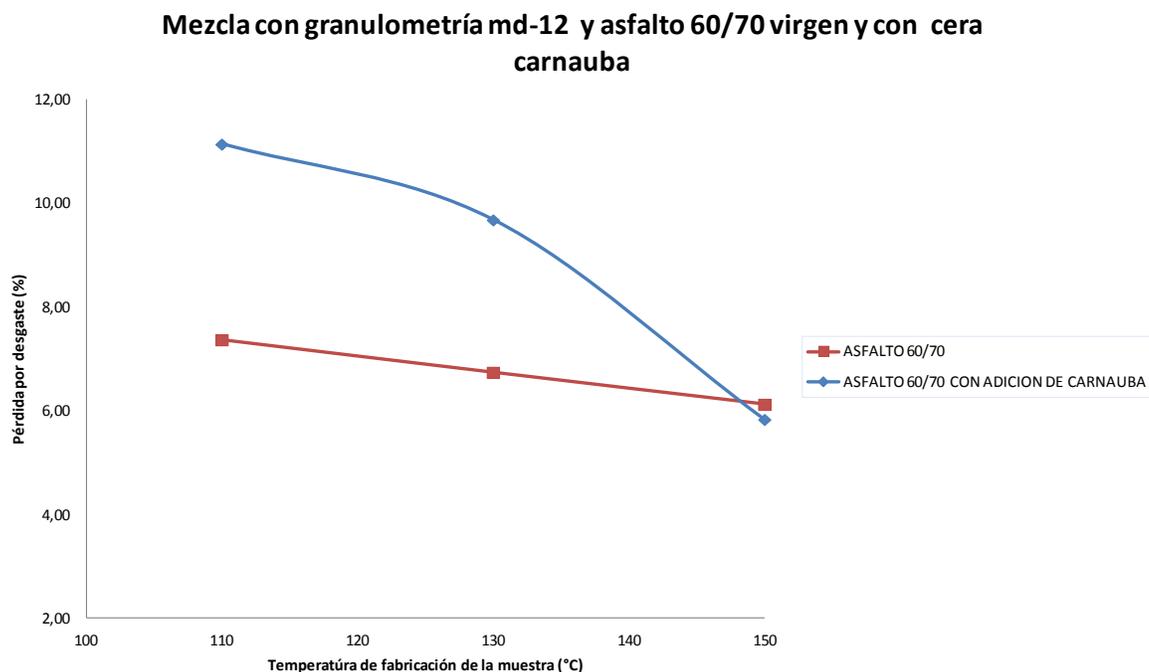
**Figura 7 MAT con granulometría md-12 y asfalto 60/70 virgen y modificado con cera de carnauba**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente, se puede determinar que en la mezcla con asfalto virgen a Temperatura de 110°C, la pérdida promedio por desgaste es de 7.38% luego de descartar el valor más bajo que corresponde a 4.34%, que se considera fuera del rango con respecto a los tres valores restantes.

Para 130°C se puede determinar que la pérdida promedio por desgaste es de 6.75% luego de descartar el valor más bajo que corresponde a 5.34% y para 150°C se puede determinar que la pérdida promedio por desgaste es de 6.13% luego de descartar el valor más bajo que corresponde a 3.90%.

Por otra parte, el comportamiento para la mezcla con asfalto modificado con cera de carnauba se resume así: para 110°C se puede determinar que la pérdida promedio por desgaste es de 11.15% luego de descartar el valor más alto que corresponde a 19.06%, que se considera fuera del rango con respecto a los tres valores restantes, para 130°C se puede determinar que la pérdida promedio por desgaste es de 9.69% luego de descartar el valor más bajo que corresponde a 7.93% y para 150°C se puede determinar que la pérdida promedio por desgaste es de 5.84% luego de descartar el valor más bajo que corresponde a 5.57%.

En la Figura 8, se presenta la comparación para cada una de las condiciones establecidas anteriormente.



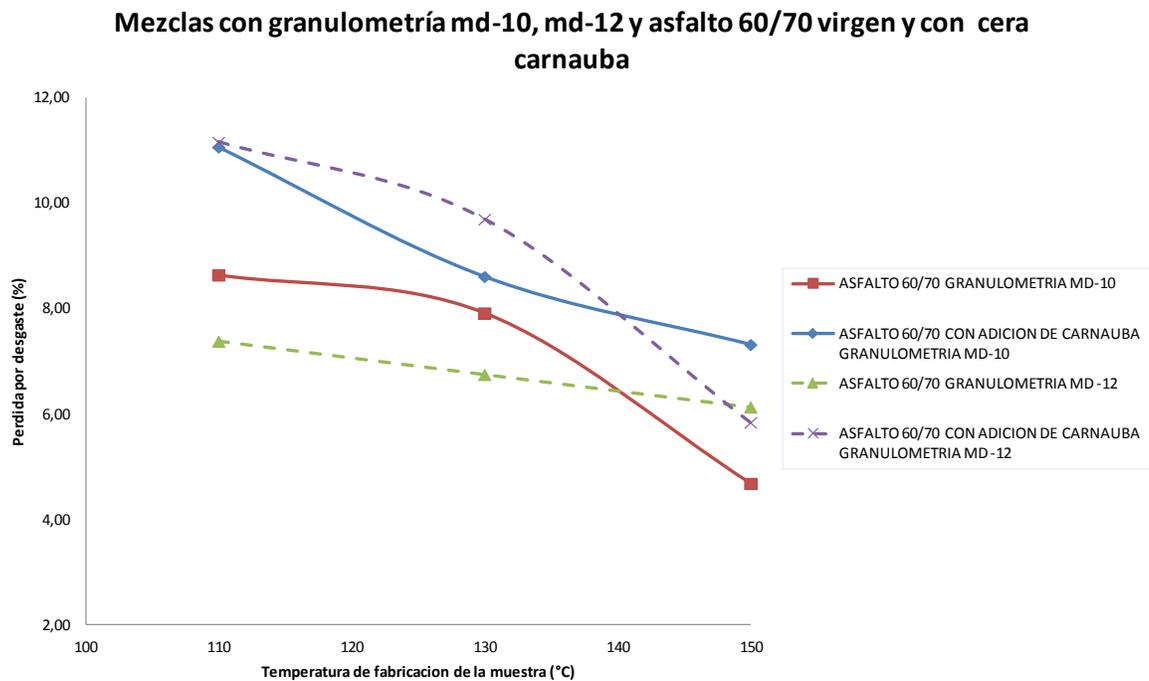
Fuente: Autores

**Figura 8 Comparación MAT con granulometría md-12 y asfalto 60/70 virgen y con cera de carnauba**

Del mismo modo, se observa que el porcentaje de pérdida de material por desgaste, es mayor en las MAT con asfaltos modificados con cera de carnauba para cada una de las temperaturas analizadas, obteniendo como mejor resultado la MAT con asfalto virgen fabricada a 150°C siendo la que menos desgaste presenta con un 6.13%, a excepción de la modificada con cera a 150°C que

presenta un desgaste de 5,84%, sin embargo la diferencia es mínima con respecto a la mezcla con asfalto virgen; por el contrario la mezcla más crítica o que más porcentaje de pérdida presenta es la mezcla con asfalto modificado con cera de carnauba fabricada a 110°C con un 11.15%.

En la Figura No. 9 se compara los dos tipos de mezclas con granulometrías dadas md-10 y md-12, fabricadas con asfalto 60/70 virgen y modificado con cera de carnauba.



Fuente: Autores

**Figura 9 Comparación MAT con granulometría md-10, md-12 y asfalto 60/70 virgen y con cera de carnauba**

De acuerdo a la Figura No. 9, se encuentra que para las mezclas analizadas con granulometría md-10 y md-12 del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), el comportamiento de la cohesión indirecta es similar, puesto que el factor influyente (temperatura) demuestra que en cuanto ésta sea mayor, la pérdida de material por desgaste es menor, lo cual indica un comportamiento inversamente proporcional.

Se observa que la mezcla asfáltica con granulometría md-12 fabricada con asfalto virgen, tiene un comportamiento constante y la pérdida de material por desgaste es similar en las 3 temperaturas analizadas; mientras que esta misma mezcla pero fabricada con asfalto modificado presenta un comportamiento irregular, con puntos máximos y mínimos que difieren en un 5%.

Cabe anotar, que las MAT fabricadas con asfaltos vírgenes para las granulometrías de la investigación md-10 y md-12, presentan menor desgaste que las MAT fabricadas con asfaltos modificados con cera de carnauba.

Las MAT con granulometría md-10 y md-12 fabricadas con asfalto modificado con cera de carnauba, presentan un comportamiento de cohesión indirecta similar a temperatura de fabricación de 110°C, y mostrando una variación pequeña a temperatura de fabricación de 130°C y 150°C concluyendo que es una alternativa que hay que tener en cuenta para la construcción de nuestras vías.

Para las dos MAT con asfaltos vírgenes y modificados con cera de carnauba, se presenta una pérdida de material por desgaste alta a temperaturas bajas y poca afectación a temperaturas de fabricación altas.

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, para las briquetas fabricadas con asfalto virgen y con adición de cera de carnauba utilizados en mezclas asfálticas tibias con granulometría md-10 y md-12, de acuerdo con las especificaciones técnicas del IDU y a las temperaturas dadas se puede concluir que:

- La temperatura de fabricación de la mezcla es un factor crítico que afecta directamente la pérdida de cohesión indirecta en las mezclas asfálticas con asfaltos vírgenes y con adición de cera de carnauba.
- Se encuentra que en cuanto mayor sea la temperatura de fabricación de la mezcla menor es la pérdida de material por desgaste, es decir presenta mejor cohesión indirecta del material.
- En las mezclas asfálticas con asfaltos modificados con cera de carnauba se presenta más pérdida de material por desgaste que en las mezclas con asfaltos vírgenes tanto para granulometría md-10 y md-12 de acuerdo con las especificaciones técnicas del IDU.
- El uso de adición de cera de carnauba para determinar la cohesión indirecta de una mezcla asfáltica es efectiva siempre y cuando la temperatura de fabricación de la mezcla es alta, condición que para esta investigación no arroja los resultados esperados, pues pasaría de ser una mezcla tibia a una mezcla caliente.
- La granulometría de la mezcla md-12 presenta una mayor cohesión indirecta tanto en asfalto virgen como en la mezcla con asfalto modificado con cera de carnauba.
- El comportamiento de pérdida de material por desgaste a 150°C para la granulometría de la mezcla md-12 con asfalto virgen es similar a la mezcla con asfalto modificado con cera de carnauba.
- El comportamiento de la cohesión indirecta en las MAT con granulometría md-10 con asfaltos modificados con cera de carnauba a una temperatura de 130°C son similares a la mezcla con asfalto virgen.
- Es preciso decir, que la fabricación de mezclas asfálticas con asfaltos modificados con cera de carnauba reduce la temperatura de fabricación y compactación de las mismas y aunque se presenta una diferencia de pérdida de material por desgaste, sigue siendo menor el consumo de energía y gases de efecto invernadero en la creación de dichas mezclas asfálticas.

- Es importante resaltar que las MAT con asfaltos modificados con cera de carnauba se convierten en una importante alternativa de construcción, pues el porcentaje de pérdida de material comparado con mezclas con asfalto virgen es mayor más no es representativo.

## 6. REFERENCIAS

- [1] CAMPOS CANESSA, Jaime Andrés. Seguimiento y comparación del comportamiento de tramos con mezcla drenante, según zona geográfica y condiciones locales. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago de Chile.: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil, 2008. 120 p.
- [2] AVALOS RUIZ Andrés. *et al.* Procesos Industriales. Lima.: Universidad Privada César Vallejo. Facultad de Ingeniería Industrial, 2012, 12 p.
- [3] Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia ASOPAC. El Cemento Asfáltico. En: Cartilla del Pavimento Asfáltico. 2004. ISBN 958-33-6312-X. no. 52, p. 11.
- [4] LARSEN D., *et al.* Aplicación de mezclas asfálticas tibias en la ciudad autónoma de Buenos Aires, Tramos Experimentales. La Plata.: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ingeniería. Departamento de Construcciones. Laboratorio de Pavimentos en Ingeniería Vial, 2012. 8 p.
- [5] Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Artículo 542-1 24/2008. 42 p.
- [6] LOPERA PALACIO, Conrado Hernando. Diseño y producción de mezclas asfálticas tibias a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma (ELAEIS GUINEENSIS). Informe final de investigación para optar al título de Máster en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte. Medellín.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 2011. 106 p.
- [7] LOPERA PALACIO, Conrado Hernando. Diseño y producción de mezclas asfálticas tibias a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma (ELAEIS GUINEENSIS). Informe final de investigación para optar al título de Máster en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte. Medellín.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 2011. 106 p. *Revista HMAT 2008.*
- [8] SUÁREZ ROBLES, Jhon Alexander, SANTOS VARGAS, Miguel Andrés. Mezclas asfálticas producto de la combinación de técnicas en mezclas de alto módulo y mezclas tibias. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, 2009. 91 p.
- [9] TORRES VELANDIA, Edinson Giovanni, NOREÑA CIFUENTES, Andrey Johanny. Mezclas Tibias: Una nueva tecnología para el mejoramiento de las mezclas asfálticas convencionales. Monografía para optar al título de Especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos. Bogotá.: Pontificia Universidad Javeriana.

Facultad de Ingeniería, 2012. 51 p.

[10] REYES ORTIZ, Osar Javier *et al.* Comportamiento de mezclas asfálticas fabricadas con adición de ceras naturales. Bogotá.: Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería, 2012. 8 p.

[11] MIRO RECASENS Jorge-Rodrigo. Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del ensayo Cántabro. Ph. D tesis. Barcelona.: Universidad Politécnica de Catalunya, 1994. 250 p.

[12] INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO – IDU. Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción de proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá D.C. Sección 510-05, p. 6. 2005.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

American Society for Testing and Materials - ASTM. Norma 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.

Boletín Técnico, PITRA, Programa de Infraestructura del Transporte, Vol 2. No. 15. Abril 2011.

CANAVOS, George. Probabilidad y Estadística Aplicaciones y Métodos. Traducido por Edmundo Gerardo Urbina Medal. México.: McGraw-Hill, 1988. 667 p

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO – IDU. Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción de proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá D.C., 2005.

REYES ORTIZ, Oscar *et al.* El proyecto FENIX en la UPC, Mezclas semicalientes. Memorias del XV Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto. Portugal, 2009.

REYES ORTIZ, Oscar, MILLÁN, S., Influencia de la temperatura, la granulometría y el agua en la cohesión de mezclas asfálticas. Revista UMNG, 2009. 15 p.

REYES ORTIZ, Oscar. Cambios dinámicos y mecánicos de una mezcla asfáltica densa por las propiedades del asfalto y la energía de compactación. Ingeniería y Desarrollo. Número 26 Julio-Diciembre, 2009. 139-155 p.