

# ESTUDIO DE ADITIVOS NATURALES PARA LA REDUCCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DE LAS MEZCLAS EN CALIENTE

MSc. Ing. Rosa Herrera de la Rosa & Ing. Nelson Villegas Muñoz  
Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción

[rosita@ctdmc.co.cu](mailto:rosita@ctdmc.co.cu) & [nelson@ctdmc.co.cu](mailto:nelson@ctdmc.co.cu)

Ing. Marlén González Alcántara

[mirella@horsegears.com](mailto:mirella@horsegears.com)

## RESUMEN

La innovación tecnológica en carreteras va de la mano de la mejora en la eficiencia energética y ambiental.

El estudio de aditivos naturales existentes en el país tales como las ceras procedentes de la caña de azúcar y del henequén, y los yacimientos de zeolitas naturales en explotación constituyen fuentes potenciales para la reducción de las demandas de energía en la industria del asfalto en Cuba.

El trabajo expone la evaluación de la cera cruda de caña como adición al asfalto para modificar las viscosidades a las altas temperaturas como la etapa inicial en el desarrollo de investigaciones relacionadas con las mezclas semicalientes.

*Palabras claves: aditivos, cera de caña, mezclas semicalientes, asfalto modificado, mezclas asfálticas.*

## 1. INTRODUCCION

Las principales investigaciones en que están envueltos los investigadores del asfalto en los últimos años están dirigidas a la preparación de mezclas asfálticas a menor temperatura para lograr una reducción de energía y de emisiones de polvo y de humos sin que se vean afectadas las prestaciones mecánicas de las mezclas en caliente.

Una de las líneas de trabajo para lograr estos resultados está referida al empleo de aditivos que actúan sobre la viscosidad del asfalto a altas temperaturas.

Dentro de los aditivos que se mencionan en la literatura se encuentran las ceras, de las cuales hay diferentes tipos: Naturales, parafínicas, no parafínicas 100 % sintéticas, no parafínicas parcialmente sintéticas, amidas de ácidos grasos, de polietileno, etc., con las cuales es posible bajar la viscosidad del ligante y por tanto la temperatura durante el proceso de mezclado y compactación alrededor de 20°C, manteniendo o mejorando las propiedades a la temperatura de servicio.<sup>[1, 2, 3]</sup>

En nuestro país existen los recursos naturales para desarrollar las investigaciones relacionadas con las mezclas semicalientes tales como las ceras procedentes tanto de la caña de azúcar y como del henequén, las cuales constituyen fuentes potenciales para la reducción de la demanda de energía en la industria del asfalto en Cuba.

Esta parte que se expone en este trabajo (la primera) está relacionada con la evaluación de la cera cruda de caña como aditivo para modificar la viscosidad del asfalto a las altas temperaturas siguiendo las líneas de trabajo planteadas en la comunidad internacional.

En Cuba la cera de caña se comercializa fundamentalmente para la producción de PPG en la Industria farmacéutica. En el país existen 8 plantas extractoras de cera cruda de caña que requieren mantenimiento y reparación intensivos y pudieran aportar en zafra de 4 000 a 5 000 ton. de cera cruda es decir, de 40 a 50 veces las cantidades de cera cruda que se requieren refinar para producir PPG.<sup>[4]</sup>

Esto posibilitaría un excedente para su aplicación en la industria de la construcción en el desarrollo de investigaciones de probada aplicabilidad y que sustituyen importantes importaciones, además de desarrollar otros productos para la industria de la construcción cubana como por ejemplo el cemento hidrófugo IMPERCEL, el desmoldante para la industria del prefabricado CERAMOLD y su empleo en el desarrollo de las mezclas semicalientes.

## 2. METODOLOGIA DE TRABAJO

El estudio para determinar el comportamiento de las propiedades del asfalto modificado con cera cruda de caña, estuvo dividido en dos etapas:

1. Determinación del porcentaje óptimo de cera de caña a adicionar al asfalto de acuerdo al comportamiento de la viscosidad rotacional Brookfield.
2. Estudiar el comportamiento reológico de los asfaltos modificados con la cera de caña.

La primera etapa, consistió en adicionar porcentajes de ceras a dos muestras de asfalto convencional 60/70, empleados habitualmente en la producción de Hormigón asfáltico caliente y medir su comportamiento a la viscosidad rotacional, con el fin de establecer el porcentaje óptimo y las temperaturas a las cuales se puede mezclar y compactar de una manera adecuada, considerando las recomendaciones de viscosidad establecida en el método SUPERPAVE<sup>[5]</sup>.

La segunda etapa, consistió en evaluar el comportamiento reológico de los asfaltos modificados con cera de caña, antes y después de sometidos a los procesos de envejecimiento de la acción del aire y la temperatura, simulando los fenómenos que ocurren durante el proceso de producción de la mezcla. La figura 1, muestra un esquema del plan experimental desarrollado en el estudio.

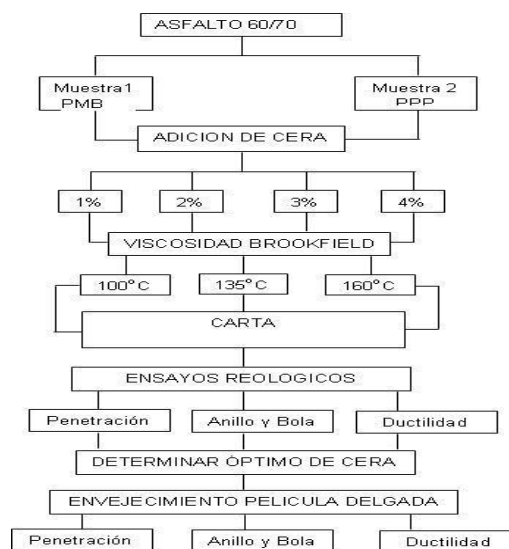


Figura 1- Grafico del plan experimental para la investigación del comportamiento del asfalto aditivado con cera cruda de caña.

### 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Caracterización de materiales.

##### 3.1.1 Cera cruda de caña.

Las muestras de cera cruda de caña fueron obtenidas de los almacenes del centro de investigaciones de la caña de azúcar y fueron caracterizadas con los ensayos básicos de identificación.

Tabla 1 - Composición de la cera de caña

Fracciones	UM	Contenido
Aceites	%	33
Resinas	%	15
Cera	%	55

Tabla 2 - Determinación del punto de fusión de la cera de caña de azúcar. ASTM D87<sup>[6]</sup>

Muestra	UM	Punto de Fusión
No. 1	°C	79.4
No. 2	°C	78.8
No. 3	°C	73.7
<b>Valor Promedio</b>	<b>°C</b>	<b>77.3</b>
<b>Desviación Standard</b>	<b>°C</b>	<b>3.1</b>

Tabla 3 - Índices físico químicos de la cera cruda de caña de azúcar.

Índice	UM	Valor
Índice de Acidez	mg KOH/g	32
Índice de Saponificación	mg KOH/g	98
Índice de Yodo	mg I <sub>2</sub> /g	28
Contenido de Ácidos Grasos Libres	%	11.6
Contenido de Alcoholes C <sub>22</sub> - C <sub>32</sub>	%	16.4

La cera de caña está constituida por cadenas con un número de carbonos que varía entre 14 y 60, debido a que en ella se encuentran una mezcla de ácidos grasos libres, triglicéridos, alcoholes grasos, aldehídos, cetonas, ésteres, terpenos, y material resinoso de alto peso molecular. Se puede estimar presenta un peso molecular medio en tanto en su composición se encuentran compuestos de bajo y alto peso molecular. Es una cera de origen vegetal de tipo no parafínica en tanto los compuestos parafínicos se forman con el tiempo y la cera de caña se obtiene de un vegetal activo.<sup>[7]</sup>

##### 3.1.2 Cemento asfáltico.

El cemento asfáltico empleado en la producción de mezcla asfáltica para la pavimentación de los viales en ciudad de La Habana es producido únicamente por la Refinería Níco López, la cual se encuentra entregando actualmente un solo tipo de asfalto de penetración clasificado como asfalto 50/70.

Para el desarrollo del trabajo se muestreo el asfalto en dos de las plantas que producen mezcla para la pavimentación de la ciudad: La planta móvil Bernardi (PMB) y la planta Bernardi de la Empresa de vías urbanas del poder popular (PPP). Las dos muestras de asfalto fueron caracterizadas con los ensayos básicos para determinar su consistencia.

Tabla 4 - Caracterización de la Consistencia de los asfaltos.

	Penetración		Ductilidad		Punto de ablandamiento	
	PMB	PPP	PMB	PPP	PMB	PPP
VIRGEN	74,1	65.9	150	150	49	46

Tabla 5 - Índice de penetración de los asfaltos.

	Índice de penetración	
	PMB	PPP
VIRGEN	-1.3	-0.8

Tabla 6. Cambios de la consistencia del asfalto por envejecimiento en el horno de película delgada en movimiento.

MUESTRAS	Penetración		% p.o	Valores admisibles PG-3 Artículo 211
	Virgen 60/70	Envejecido		Penetración (% penetración original)
PMB	74,1	35,1	47,4	50 mínimo
PPP	65,9	32,7	49,6	
	Ablandamiento		$\Delta T^\circ$ A y B	Valores admisibles PG-3 Artículo 211
	Virgen 60/70	Envejecido		$\Delta T^\circ C$ A y B
PMB	46	57	11	9 máximo
PPP	49	51,5	2,5	
	Ductilidad		Valores admisibles PG-3 Artículo 211	
	Virgen 60/70	Envejecido	Ductilidad, cm Después de envejecido	
PMB	150	129	50 mínimo	

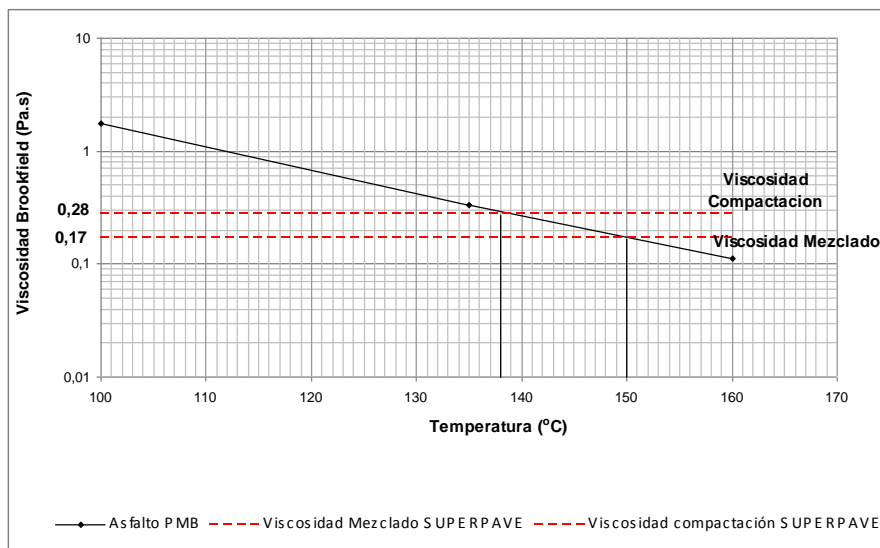


Figura 2 - Carta de viscosidad-temperatura para la muestra de asfalto PMB.

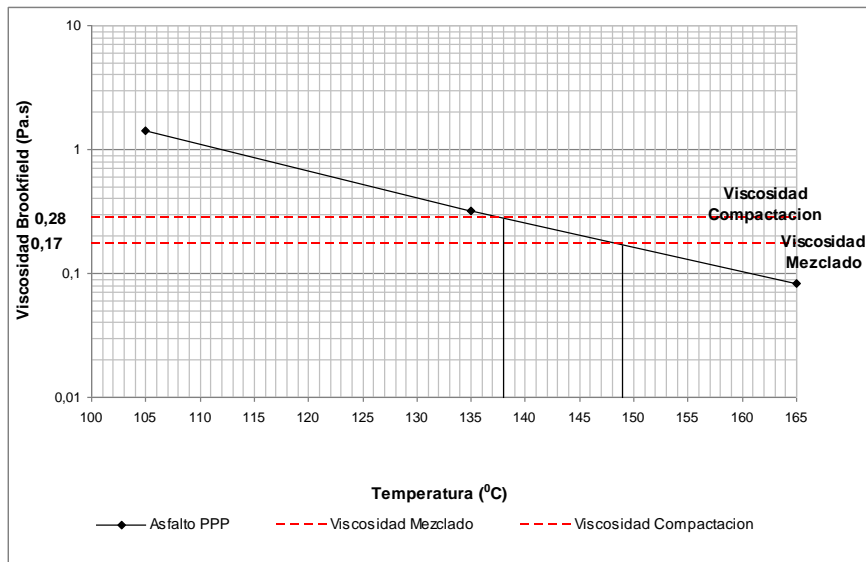


Figura 3 - Carta de viscosidad temperatura para la muestra de asfalto PPP.

### 3.2 Preparación de las mezclas asfalto-cera de caña.

Considerando los rangos de adiciones de ceras encontrados en la literatura revisada se consideró probar 4 por cientos diferentes de adición abarcando desde el 1% hasta el 4%, variando de uno en uno las cantidades a añadir.

Se prepararon los recipientes con aproximadamente 500 gramos de asfalto, los cuales se llevaron a temperatura entre 90 y 100 °C, de manera que la temperatura del asfalto fuera superior a la temperatura de fusión de la cera (78-80) °C.

La cera previamente pesada en las cantidades a añadir de acuerdo al por ciento establecido fue agregada al asfalto, manteniéndose el mismo sobre la plancha de calefacción con agitación manual por 5 minutos.

En la preparación de las muestras asfalto-cera se apreció para el 4% de adición, un ligero aumento de volumen, tipo espuma y cambio de la coloración del asfalto.

### 3.3 Medición de la viscosidad rotacional Brookfield <sup>[8,9]</sup>

Se determinó la viscosidad rotacional de los asfaltos modificados con ceras a diferentes porcentajes (1 al 4%), obteniéndose la influencia de los aditivos con la temperatura y la viscosidad. La medición de la viscosidad se realizó para tres puntos de temperaturas 100, 135 y 160°C para conformar las curvas temperatura viscosidad de los asfaltos modificados con cera a diferentes porcentajes (1 % al 4%), lo que propició la elaboración de la carta viscosidad-temperatura, donde se incluyen las diferentes curvas para cada adición considerada.

Las temperaturas medias establecidas fueron señalizadas en la carta por el método de diseño SUPERPAVE para el mezclado (0.17 ± 0.02) Pa.s y la compactación (0.28 ± 0.03) Pa.s.

De la modificación del asfalto procedente de la planta móvil Bernardi, representada en el gráfico 4 se puede apreciar que los contenidos de adiciones de 1%, 2% y 3 % de cera reducen los valores de la viscosidad respecto al asfalto virgen en las temperaturas de mezclado y compactación (135 °C y 160°C). Sin embargo, con relación al 1% de adición los contenidos del 2 % y 3 % comienzan a incrementar ligeramente la viscosidad para la

temperatura de compactación (135 °C), aunque para la temperatura de mezclado (160°C) la adición del 2 % sigue disminuyendo la viscosidad. La adición del 4% incrementa la viscosidad por encima del asfalto virgen PMB en la temperatura de compactación, aunque no mantiene igual tendencia en la temperatura de mezclado.

Las viscosidades medidas a la temperatura de 100 °C mostraron variaciones aleatorias en relación al por ciento de adición, lo cual pudiera deberse a que a dicha temperatura el asfalto comienza a comportarse como un líquido muy viscoso.

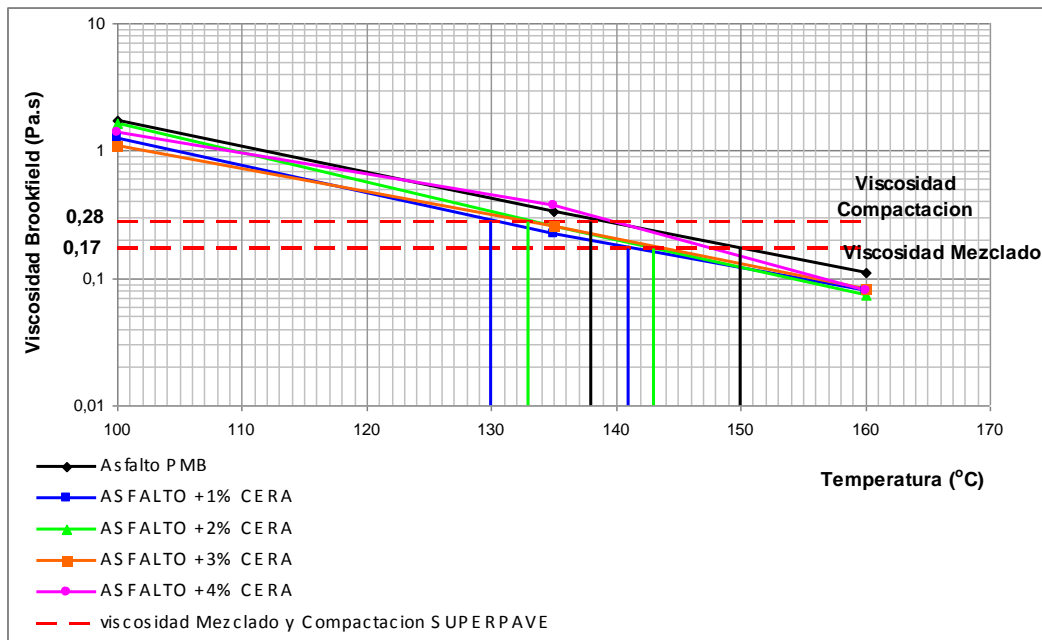


Figura 4 - Carta viscosidad – temperatura para el asfalto PMB con diferentes contenidos de cera.

De los resultados del ensayo de viscosidad se puede establecer que el óptimo de adición se encuentra entre el 1% y 2 % de cera. Por otra parte si determinamos la intercepción marcada por la línea horizontal de las viscosidades recomendadas por el método SUPERPAVE, las temperaturas de mezclado del asfalto virgen disminuyen desde 150 °C hasta 141 °C y 143 °C para los asfaltos con 1% y 2 % de adición de cera respectivamente, produciendo una reducción entre 9 °C y 7 °C de temperatura.

La carta viscosidad temperatura de la segunda muestra de asfalto, tomada de la planta del poder popular, es representada en el gráfico 5. En este caso se decidió desplazar el rango de temperaturas en 5 °C para la medición de la viscosidad. Se aprecia un comportamiento muy parejo entre las adiciones del 1% y el 2 % de cera y de igual manera las correspondientes al 3 % y al 4% respectivamente.

Similarmente a la muestra anteriormente ensayada, las adiciones del 1% y 2 % reducen las viscosidades en relación a la del asfalto virgen en los tres puntos de temperatura medidos y el 3 % y 4% a pesar de que para la temperatura de compactación (135°C) la viscosidad sigue siendo menor que la del asfalto virgen, comienza a manifestarse un incremento de la misma en relación con la adición del 2 % de cera, teniendo para la temperatura de mezclado (165°C) viscosidad superior a la del asfalto virgen. Por tanto, las

mediciones en esta segunda muestra corroboran que el óptimo de adición de cera se encuentra entre el 1 % y el 2 %.

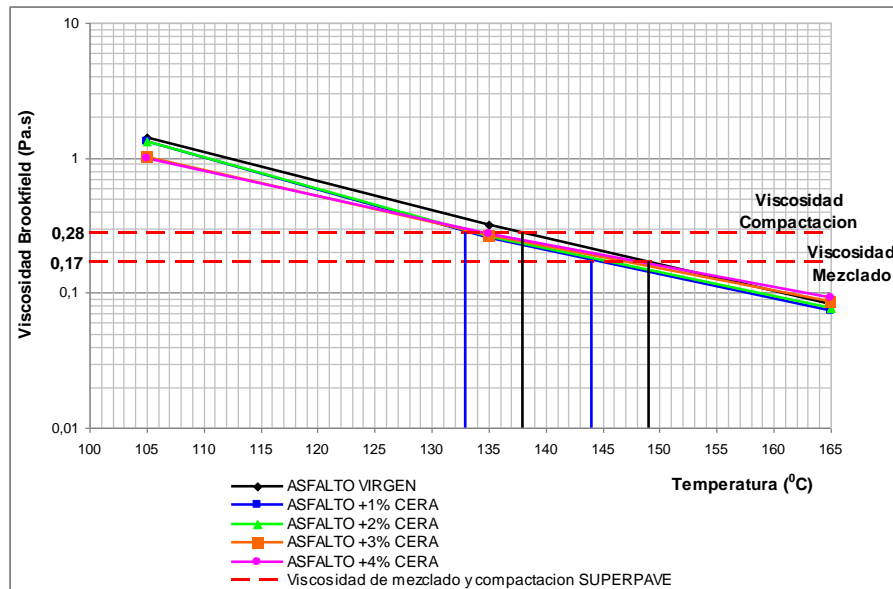


Figura 5 - Carta viscosidad – temperatura para el asfalto PPP con diferentes contenidos de cera.

Las variaciones en las temperaturas, de acuerdo a las viscosidades recomendadas por el método de diseño SUPERPAVE, disminuyeron para la temperatura de mezclado de 149°C para el asfalto virgen, a 144 °C para los contenidos de 1 y 2 % de cera de caña y para la temperatura de compactación se produjo una disminución de 138 °C necesario para el asfalto virgen a 133 °C para el asfalto con 1 y 2% de adición, lo que conlleva a una reducción de 5 grados de temperatura.

En ambas muestras ensayadas las reducciones obtenidas en las temperaturas de trabajo de las mezclas se encuentran en el orden de los 5 °C a 9 °C de temperatura.

Haciendo una revisión detallada de la literatura consultada, en líneas generales se plantea que la técnica de adición de ceras para las mezclas semicalientes produce una reducción de la temperatura entre 20 °C y 30 °C; sin embargo trabajos presentados de la experimentación de diferentes autores en distintos países muestran resultados similares al obtenido en nuestra experimentación.

Respecto a este particular podemos mencionar los trabajos desarrollados en España dentro del marco del proyecto FENIX donde la medición de las viscosidades en el asfalto modificado con ceras disminuyen muy poco en relación al asfalto patrón 60/70 utilizado para las temperaturas superiores a 130°C <sup>[10]</sup>. Lamentablemente no exponen el tipo de cera empleado en el estudio.

Con resultados parecidos se encuentran los trabajos desarrollados en Portugal con adiciones de 4% de SASOBIT (cera Fischer Tropsch) que logran reducciones de la temperatura entre 7 y 9 °C en mediciones de la viscosidad Brookfield <sup>[11]</sup>, así como también los trabajos experimentales desarrollados en Argentina con una cera Fischer Tropsch, donde las reducciones de viscosidad respecto al asfalto normal son mínimas, obteniéndose una reducción de temperatura de 5 °C <sup>[12]</sup>.

Todos estos trabajos obtienen reducciones de temperatura alrededor de 20 °C cuando continúan los estudios en la evaluación de las mezclas elaboradas con el ligante modificado con ceras y en pruebas de compactabilidad a diferentes temperaturas de trabajo.

Los resultados de la evaluación de las propiedades reológicas de los asfaltos modificados con cera a partir de medición de las propiedades que afectan la consistencia de los asfaltos fueron representados en la figura 6 para su mejor visualización.

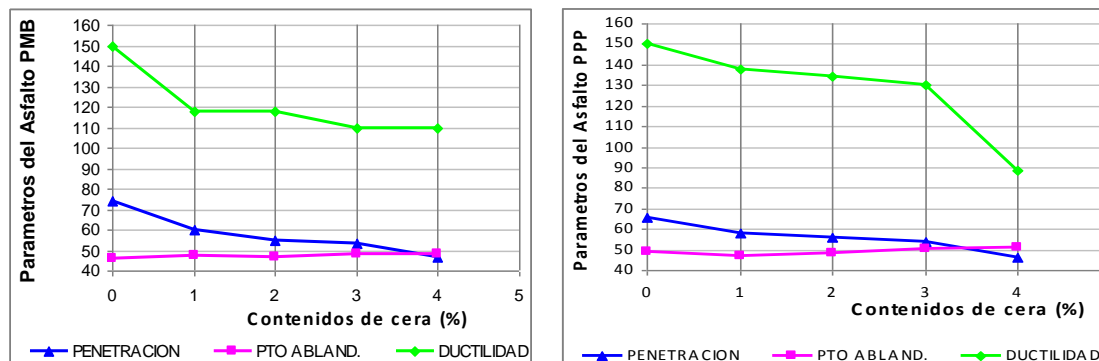


Figura 6 - Representación de las propiedades reológicas de las dos muestras de asfalto modificados con adiciones de cera de caña.

Se puede apreciar que la ductilidad decrece con el contenido de cera, aunque mantiene valores por encima de 100 cm. y no llegan a la rotura, sufriendo solamente una acentuada deformación excepto para la adición del 4 % en el asfalto procedente de la planta del poder popular (PPP) en que el valor de la ductilidad rompió en 88 cm. Los valores de penetración disminuyen y los de la temperatura de ablandamiento se incrementan, indicando un endurecimiento del asfalto con el incremento de los contenidos de cera, lo cual resulta favorable en relación al tipo de asfalto empleado que presentaba valores altos de penetración, por encima del rango de clasificación, y temperaturas de ablandamiento por debajo de las esperadas en nuestros pavimentos. Sin embargo, a pesar de estas variaciones favorables en los parámetros de penetración y temperatura de ablandamiento, los índices de penetración calculados (tabla 7) para los asfaltos modificados con esta cera se mantienen en el orden de -1, por lo que sigue siendo un asfalto de gran susceptibilidad a la temperatura.

Tabla 7 - Índice de penetración de los asfaltos con diferentes contenidos de ceras.

Contenido de cera (%)	Índice Penetración (IP) Muestra PMB	Índice Penetración (IP) Muestra PPP
0	-1,3	-0,8
1	-1,4	-1,6
2	-1,7	-1,4
3	-1,4	-0,9
4	-1,7	-1,1

Los asfaltos modificados con cera para el 1 y 2 % de adición fueron sometidos al envejecimiento por la acción del aire y la temperatura en el horno de película delgada y posteriormente medidos sus índices de consistencia. Los resultados se graficaron de manera comparativa por ensayo, antes y después del envejecimiento, como se muestra a continuación.



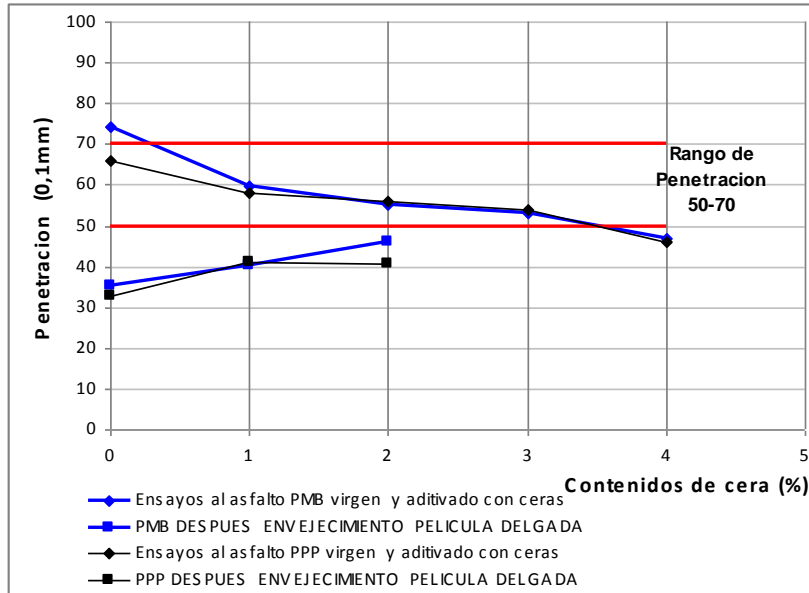


Figura 7 - Representación de los resultados de la penetración de los asfaltos aditivados antes y después de envejecido.

En relación a la determinación de la penetración por efecto del envejecimiento, el asfalto cambia de rango de penetración desde 50-70 hasta un 40-50 en las adiciones del 1 y 2 %. El por ciento de penetración original en los asfaltos aditivados se mantiene por encima del 50 % índice. El mejor por ciento de la penetración original (83,7 %) se obtiene para el 2 % de adición.

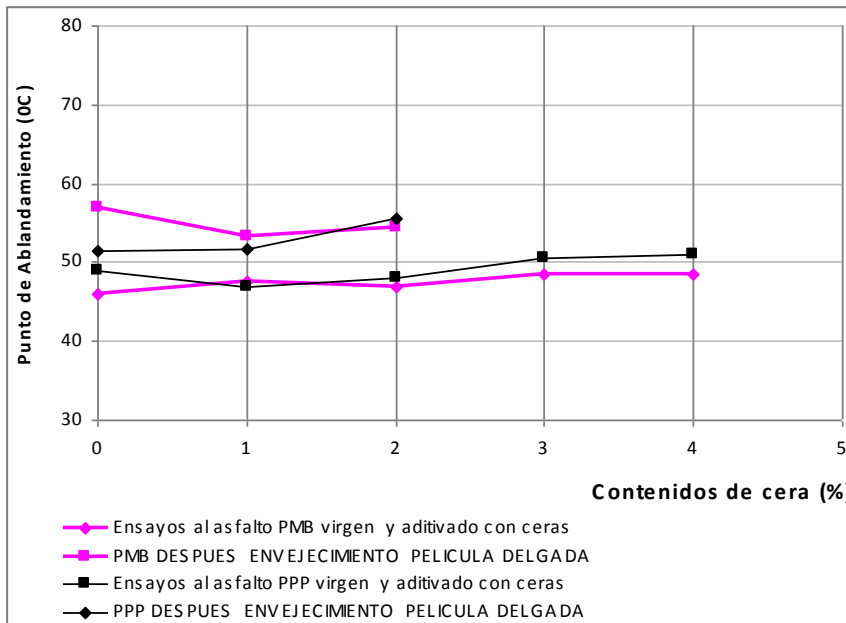


Figura 8 - Representación de los resultados del punto de Ablandamiento Anillo y Bola de los asfaltos aditivados antes y después de envejecido.

El punto de ablandamiento después de envejecido se incrementa a temperaturas mayores que 50 °C, tomando el mayor valor de 55,5 °C para 2 % de adición.

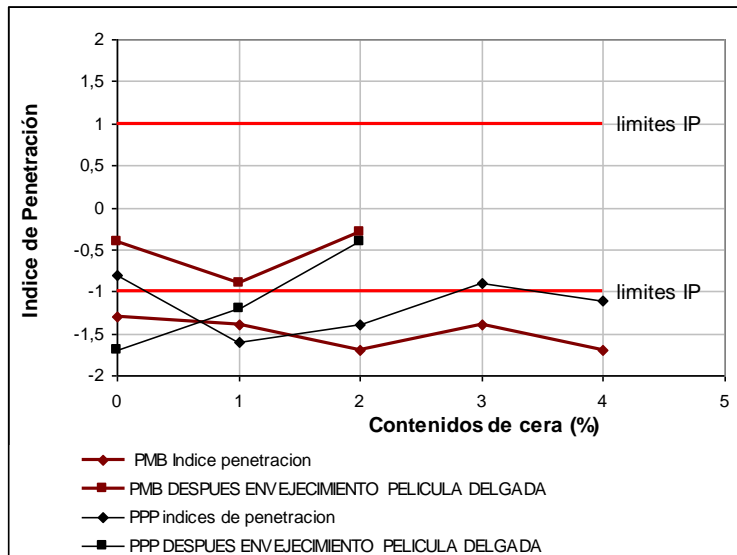


Figura 9 - Representación de los resultados del índice de penetración de los asfaltos aditivados antes y después de envejecido.

De la representación de los valores del índice de penetración se puede apreciar que aun en los asfaltos envejecidos, el índice de penetración mantiene los valores negativos, aunque mejoran alcanzando valores mayores de -0,5 que es el limite mínimo establecido en las especificaciones para el caso de regiones o climas calidos. Los mejores valores de IP después de envejecido se obtienen para el 2 % de adición de cera.

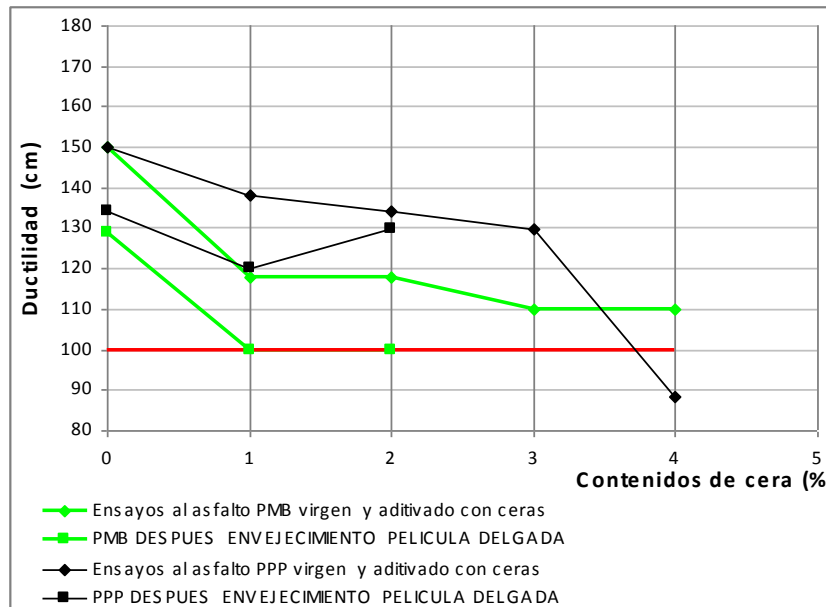


Figura 10 - Representación de los resultados de la ductilidad de los asfaltos aditivados antes y después de envejecidos.

Los valores de la ductilidad de los asfaltos con adición, envejecidos, se mantienen por encima de 100 cm según establece la especificación, aunque se aprecia diferencia notable en el comportamiento entre las dos muestras, en este parámetro.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. El asfalto virgen utilizado para el desarrollo del trabajo, ha sido caracterizado como un cemento asfáltico de gran susceptibilidad a la temperatura, con un gran contenido de fracciones ligeras que se evaporan fácilmente por la acción del aire y la temperatura, no ideal para su empleo en pavimentación, bajo las condiciones de clima cálido y altas temperatura de Cuba.
2. La cera cruda de caña utilizada en este estudio, presenta un punto de fusión inferior a 80 °C lo que facilita su disolución en el asfalto a las temperaturas de trabajo.
3. Fue posible conformar las curvas temperatura viscosidad, de los asfaltos vírgenes y modificados con cera de caña, empleando un viscosímetro rotacional, pudiéndose obtener la influencia que aportan los aditivos con la temperatura a la viscosidad.
4. Las reducciones de las temperaturas de trabajo de las mezclas, con adiciones entre el 1 y 2 %, de acuerdo a las viscosidades recomendadas por el método de diseño SUPERPAVE, se encuentran en el orden de los 5 a 9 °C de temperatura.
5. El contenido óptimo de adición de cera cruda de caña, de acuerdo a los resultados de las mediciones de viscosidad y evaluación reológica de los asfaltos aditivados, se estima en el 2 % de adición.
6. Los resultados obtenidos están acorde a lo expresado por la literatura internacional con el empleo de otros tipos de ceras, y es de esperar que las reducciones de temperatura alcancen los 20 °C cuando se evalúen las pruebas de compactibilidad en las mezclas elaboradas con el asfalto aditivado, en los estudios que como continuación de este trabajo se realizarán.

#### **5. RECOMENDACIONES**

1. Incluir estudios con la cera refinada de caña de azúcar dado que la cera cruda empleada presenta en su composición solamente un 55 % de cera para valorar el efecto que pudiera presentar esta composición en las características de consistencia del asfalto.
2. Continuar los estudios elaborando mezclas asfálticas con los asfaltos modificados con cera cruda de caña.

#### **6. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.**

1. GIL REDONDO, Santiago. Estudio de los aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperaturas. Memorias del XV CILA. Portugal, 2009.
2. GUTIERREZ Muñoz, Álvaro. Desarrollo de mezclas asfálticas tibias en México. Memorias del XV CILA. Portugal, 2009
3. TEJASH Gandhi. Effects of warm asphalt additives on asphalt binder and mixture properties. Clemson University, 2008.
4. GARCÍA, Alberto. Uso de Cera Cruda en la producción de Cementos Impermeables. 2007
5. ANDERSON R.M, and MCGENNIS R. B.. SUPERPAVE Asphalt Mixture Design Illustrated Level 1 Lab Method S. Report No. FH WA-SA-94-004
6. ASTM D 87. Standard Test Method for Melting Point of Petroleum Wax (Cooling Curve).
7. GARCÍA, Alberto. Información verbal aportada por jefe del programa de cera de caña del ICIDCA. La Habana, 2010.
8. ASTM D 2493. Standard Viscosity-Temperature Chart for Asphalts. Manual 2007.

9. ASTM D4402. Standard Test Method for Viscosity Determinations of Unfilled Asphalts Using the Brookfield Thermosel Apparatus. Manual 2007.
10. REYES Ortiz Oscar. El proyecto FENIX en la UPC. Mezclas semicalientes. Memorias del XV CILA. Portugal, 2009
11. SILVA Hugo. Avaliação do desempenho de misturas betuminosas temperadas. Memorias del XV CILA. Portugal, 2009
12. SUBIAGA Alicia. Aditivos para mezclas asfálticas templadas (WAM): Influencia en las propiedades reológicas del ligante asfáltico. Memorias del XV CILA. Portugal, 2009
13. SOTO José A. Sostenibilidad en pavimentos de carreteras. Mezclas a bajas temperaturas. Memorias del XV CILA. Portugal, 2009
14. NEWCOMB Dave. An Introduction to Warm-mix Asphalt. National Asphalt Pavement Association. 2002
15. GRAHAM C. Hurley. Evaluation of Sasobit® for use in warm mix asphalt NCAT Report 05-06. Auburn University, 2005.

## **7. DESCRIPCIÓN DEL RESUMEN**

**IP0049mexico2011-Rosa Herrera de la Rosa-S.doc**