

Mezclas asfálticas de bajo impacto ambiental para la rehabilitación de las carreteras en Cuba

Reynier Moll Martínez

correo electrónico: reymoll@civil.cujae.edu.cu

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Artículo Original

Anadelys Alonso Aenlle

correo electrónico: anadelys@civil.cujae.edu.cu

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Mirna González Lobera

correo electrónico: mgonzalezl@civil.cujae.edu.cu

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Resumen

Con el objetivo de reducir el impacto ambiental negativo que provoca la fabricación de mezclas asfálticas en caliente y la generación de desechos durante las labores de conservación vial, se han desarrollado a nivel internacional las mezclas asfálticas semicalientes producidas a temperaturas inferiores que las convencionales; y las recicladas obtenidas al mezclar material virgen con el resultante del fresado durante las actividades de rehabilitación. En esta investigación se estudian ambas alternativas de mezclas a nivel de laboratorio, con el propósito de evaluar su introducción en la conservación vial en Cuba. Para la mezcla semicaliente se añadió zeolita natural cubana en diferentes porcentajes, en forma de filler y de arena. Para las mezclas recicladas se evaluaron tres contenidos de RAP y tres temperaturas de mezclado. Se realizaron los ensayos del método Marshall, estabilidad retenida por tracción indirecta y el ensayo de módulo dinámico, comparándolos con una mezcla patrón sin adiciones. Los resultados evidenciaron la posibilidad de incluir ambas tecnología en las actividades de rehabilitación de pavimentos en Cuba, con resultados favorables al añadir zeolita en forma de filler y arena, posibilitando reducir hasta 20 °C de temperatura; y la adición del 20 % de RAP con similitud a la mezcla patrón de referencia.

Palabras claves: impacto ambiental, mezcla asfáltica semicaliente, reciclado, zeolita natural, conservación vial

Recibido: 20 de septiembre del 2016 Aprobado: 17 de noviembre del 2016

INTRODUCCIÓN

En los últimos años existe una evidente preocupación por la preservación del medio ambiente y los recursos naturales que en él se encuentran. Dentro del ciclo de vida de las mezclas de hormigón asfáltico en caliente (HAC), se desarrollan cinco procesos fundamentales que pueden impactar negativamente sobre el medio ambiente (figura 1). En esta investigación son objeto de estudio la producción y conservación o reciclado de estas, con el propósito de analizar la forma en que se pueda contribuir a la disminución del impacto negativo.

La fabricación de las mezclas se lleva a cabo a temperaturas entre 150 °C y 180 °C, lo que conlleva la emisión de sustancias contaminantes. No obstante, se ha demostrado [1, 2] que la introducción de nuevas tecnologías que den lugar a la reducción de dichas temperaturas, puede repercutir en la disminución del impacto ambiental negativo [3], sin que afecte la calidad del producto final [4]. Una de estas tecnologías son las mezclas asfálticas semicalientes (WMA, del inglés Warm Mix Asphalt), obtenidas de emplear diferentes técnicas para disminuir las temperaturas de fabricación y puesta en

obra del orden de los 30 °C a 40 °C [5, 6]; a partir de la modificación del proceso de producción, el uso de asfalto espumado o la adición de aditivos químicos o naturales.



Fig. 1. Ciclo de vida de las mezclas de hormigón asfáltico en caliente (HAC).

Uno de los aditivos que se emplea en estos procesos es una zeolita sintética en forma de filler, con el que se han patentado dos procesos de mezclas semicalientes. En Cuba existen yacimientos de zeolita en estado natural con características y propiedades físico-químicas similares a las sintéticas, lo que hace posible su empleo, evitando costos por importación. La zeolita natural cubana es un mineral abundante en el país, considerándose como una de las mayores reservas mundiales. Tienen un contenido zeolítico superior al 50 % y la capacidad de almacenar grandes cantidades de agua en sus moléculas, característica que hace posible su aplicación en las mezclas asfálticas para producir el espumado del asfalto y reducir su viscosidad [7].

Por otro lado, en la etapa de conservación de las mezclas, se incluyen aquellas que emplean el material fresaado de la capa asfáltica (RAP del inglés Reclaimed Asphalt Pavement), permitiendo su reutilización. De esta manera la aplicación del reciclado de pavimentos favorece la reducción de desechos provocados por el proceso de fresaado contribuyendo a disminuir el impacto negativo sobre el medio ambiente [8]. Los tipos de reciclado de pavimentos que se han desarrollado están en función de la temperatura de ejecución de los trabajos (en frío o en caliente), según donde se realice el tratamiento (in situ o en central) y en función del espesor de la capa a reciclar [9, 10].

Internacionalmente se han obtenido resultados [11, 12] que corroboran que desde el punto de vista ambiental, tanto las mezclas asfálticas semicalientes como las recicladas son altamente beneficiosas. Con ambas se reduce el consumo de recursos naturales y energía, se

disminuyen en los volúmenes de explotación de las canteras, el gasto de combustible y las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

En este trabajo se evalúa, a partir de ensayos a nivel de laboratorio, la posibilidad de introducir en Cuba las mezclas semicaliente con adición de zeolita natural cubana, procedente del yacimiento de Tasajeras y la técnica de reciclado de pavimentos abordando el tipo de reciclado en caliente y en planta; como estrategias para la conservación y rehabilitación de carreteras. Para la mezcla semicaliente con zeolita natural cubana, se añaden diferentes porcentajes del aditivo tanto en forma de filler como de arena y se realizan ensayos de estabilidad, deformación, sensibilidad al agua y módulo de rigidez. La mezcla asfáltica confeccionada con material reciclado utiliza tres proporciones de RAP que sustituyen la parte volumétrica que le corresponde al árido en la mezcla. Cada una de ellas se estudió a tres temperaturas diferentes para determinar la combinación porcentaje de RAP-temperatura de mezclado más adecuada para las condiciones de diseños y los materiales empleados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales empleados

El tipo de asfalto que se utilizó en el diseño de las mezclas asfálticas fue 50/70 proveniente de la refinería Níco López. En la tabla 1 se presentan los valores de los parámetros que caracterizan a este material, de acuerdo con las especificaciones que establece la NC: 253-2005 [13].

Se emplearon áridos calizos procedentes de la cantera Alacranes en tres fracciones: 19-10 mm, 10-5 mm y 5-0 mm. En la tabla 2 se muestran las propiedades tanto de los áridos como del RAP. En la figura 2 se representan las granulometrías de las fracciones de los agregados minerales y del RAP.

Para la obtención de la mezcla semicaliente se emplearon dos fracciones (filler y arena) de una zeolita natural cubana procedente del yacimiento de Tasajeras en la provincia de Villa Clara. El tamaño de la fracción filler es inferior al tamiz #200 (< 0,006 3 mm), en el caso de la zeolita en forma de arena la fracción está entre 0-4 mm. Las propiedades se muestran en la tabla 3.

Tabla 1 Parámetros del ligante asfáltico	
Propiedades del asfalto 50/70 de Níco López	
Penetración (25°C 100g/5s) (1/10 mm)	54
Ductilidad (cm)	100
Punto de ablandamiento (°C)	51,3
Punto de inflamación (°C)	290

Tabla 2
Propiedades físicas de los áridos y el RAP

Propiedades	Gravilla (19-10mm)	Granito (10-5mm)	Polvo (5-0mm)	RAP
Peso específico corriente (PEC) (g/cm ³)	2,548	2,577	2,734	2,281
Peso específico saturado (PES) (g/cm ³)	2,598	2,633	2,761	-----
Peso específico aparente (PEA) (g/cm ³)	2,738	2,728	2,81	2,363
Absorción (%)	1,981	2,156	0,982	-----
Material que pasa por el tamiz 200 (0,074mm) (%)	0,561	1,215	15,083	-----
Equivalente de arena (%)	-----	-----	71,5	-----

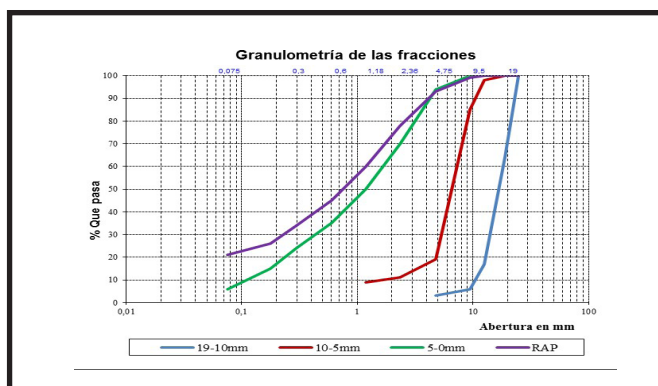


Fig. 2. Granulométricas de las fracciones de áridos y el RAP.

Tabla 3
Propiedades de la zeolita natural cubana

Propiedades	Zeolita natural cubana	
	(filler)	(arena)
Humedad (%)	14,3	
Adsorción (%)	23,7	16,5
Densidad (g/cm ³)	2,34	2,35

Plan de ensayos

Para la investigación se diseñó una mezcla semidensa de tamaño máximo 25 mm (SD 25,4 mm) como patrón de referencia para la comparación con las demás mezclas con aditivos.

Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado

El diseño de las mezclas con RAP se llevó a cabo para cumplimentar dos objetivos:

- Objetivo 1: Influencia del porcentaje de RAP en las mezclas asfálticas.
- Objetivo 2: Influencia de la temperatura de fabricación en las propiedades de las mezclas con RAP.

En la tabla 4 se presentan los tipos de mezclas que se diseñaron y las condiciones de diseño de cada una de ellas en cuanto a porcentaje de RAP utilizado, temperatura de trabajo y porcentajes de asfalto.

La realización de los ensayos a diferentes temperaturas se definió a partir de los resultados obtenidos con los diferentes porcentajes de RAP, para lo cual se eligió el de mejores resultados y se fabricó la mezcla a diferentes temperaturas de trabajo.

Las combinaciones granulométricas tanto de la mezcla patrón como de las mezclas asfálticas recicladas se muestran en la figura 3.

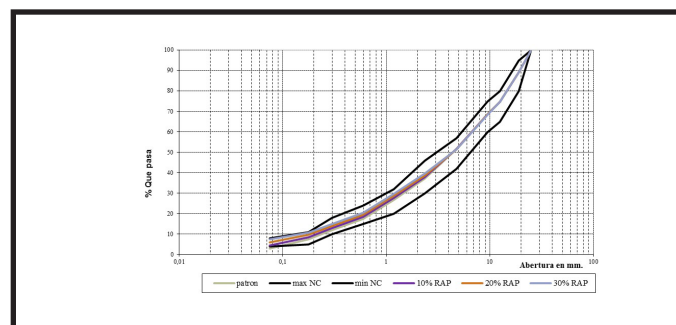


Fig. 3. Granulometría de las mezclas con RAP.

Mezcla semicaliente con zeolita natural cubana

Para las mezclas semicalientes se añadió la zeolita natural en dos granulometrías:

En forma de filler: 0,2 %; 0,4 %; 0,6 %; 0,8 % y 1 % para 4,5% y 5% de asfalto.

En forma de arena. 2 %, 6%, 10 % y 20%, para 4,7 % de asfalto resultando ser el contenido óptimo de la mezcla patrón.

La zeolita fue añadida en el momento de mezclado de los áridos y el asfalto.

Tabla 4
Tipos de mezclas diseñadas y criterios de diseños empleados

Mezclas	Contenido de RAP (%)	Temperatura de trabajo (°C)	Objetivo de estudio	Contenido de asfalto SM * (%)
Mezcla patrón	0	160	1, 2	4,5%
Mezclas con diferentes porcentajes de RAP	10, 20, 30	160	1	5%
Mezclas con RAP a diferentes temperaturas	20	160, 180, 200	2	5,5%

*contenido de asfalto sobre mezcla

Asimismo, las temperaturas de trabajo fueron 150°C-160°C para las mezclas convencionales y de 130°C-140°C para las mezclas semicalientes.

En la figura 4 se muestran las granulometrías de las mezclas con zeolita en forma de filler y de arena.

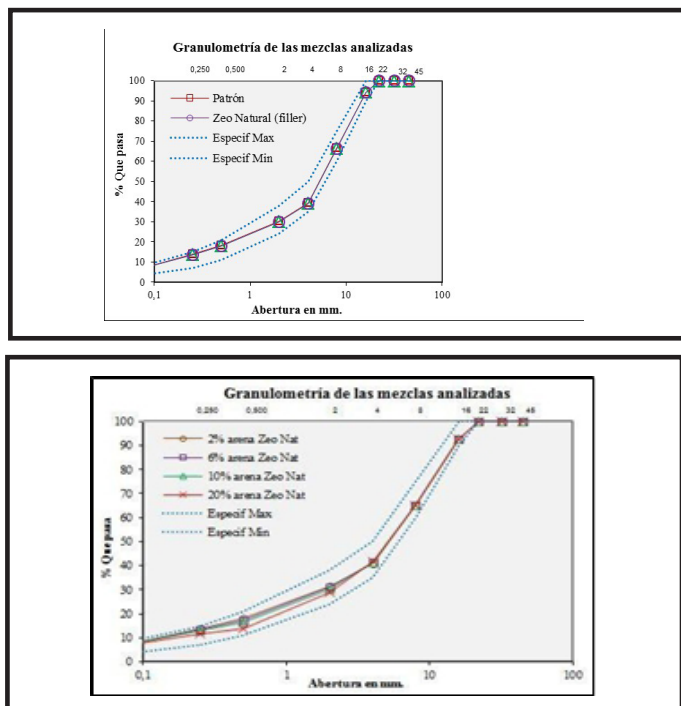


Fig. 4. Granulometría de las mezclas con zeolita natural en forma de filler (arriba) y arena (der).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A las mezclas se le realizaron ensayos de densidad, porcentajes de huecos en mezcla y áridos, estabilidad y deformación Marshall, módulo de rigidez y tracción indirecta.

Análisis de los resultados para diferentes porcentajes de RAP

En la figura 5 se observa que para los diferentes porcentajes de asfalto y de RAP la densidad de las mezclas disminuye respecto a la mezcla patrón. Los mejores resultados se obtienen para la adición de un 5 % y 5,5 % de asfalto y para 20 % y 30 % de RAP. Se observa una relación entre el porcentaje de RAP y el de asfalto, ya que para 4,5 % la densidad disminuye al aumentar el porcentaje de RAP; en cambio para mayores contenidos de asfalto (5 %, 5,5 %) este parámetro aumenta con el incremento del RAP. El 5 % de material asfáltico es un contenido con el cual se obtienen buenos resultados de densidad para todas las mezclas.

En general, el porcentaje de huecos en mezcla disminuye con el aumento del contenido de asfalto. Los resultados para 5,5 % de asfalto muestran que es un contenido en exceso pues los valores están por debajo de lo exigido

en la NC 253: 2005 [13]. En el caso del parámetro huecos en áridos las mezclas con RAP describen una tendencia a aumentar respecto a la mezcla patrón. No se cumple el rango establecido por la NC 253: 2005 (14-16 %) [13], para la mezcla con 10 % de RAP y 5,5% de asfalto; y para las que contienen 20 % y 30 % de RAP con 4,5 % de asfalto. Los resultados de los huecos en áridos evidencian que al añadir mayor contenido de RAP la mezcla necesita mayor porcentaje de asfalto para lograr la compactación necesaria, hasta un contenido tal, que en este caso resulta ser el 5 %, a partir del cual el asfalto comienza a ser en exceso (figura 6).

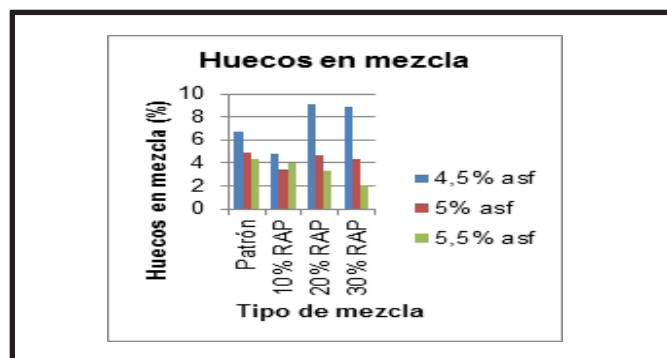


Fig. 5. Densidad de las mezclas con diferentes porcentajes de RAP.

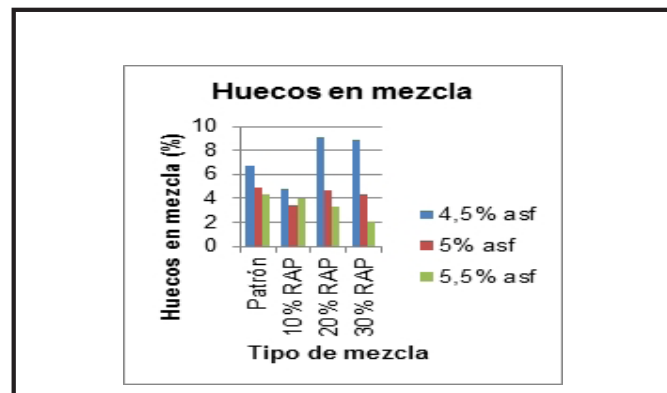
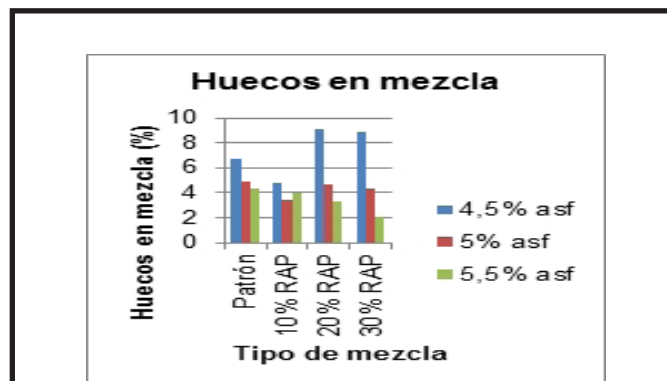
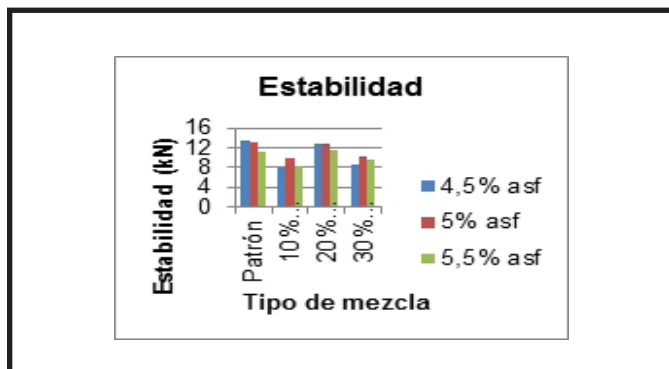


Fig. 6. Porcentaje de huecos y mezcla (arriba) y áridos (abajo) de las mezclas con diferentes porcentajes de RAP.

Los mejores resultados de estabilidad Marshall se obtienen para 20 % de RAP y 4,5 % y 5 % de asfalto (figura 7 izq.), siendo similares a los de la mezcla patrón. Para todos los porcentajes de asfalto y de RAP se obtiene un punto de inflexión máximo para las mezclas con 20 % de RAP. Excepto el diseño que contiene 10 % de RAP y 4,5 % de asfalto, en el resto de los casos se cumple con las especificaciones de la NC 253: 2005 [13] para la estabilidad (8-13kN). La menor deformación es para la mezcla con 20 % de RAP para los tres porcentajes de asfalto, incluso con valores inferiores a la mezcla patrón (figura 7 der.) Las mezclas con 5,5 % de asfalto superan el rango de valores establecidos en la NC 253: 2005 [13] para la deformación (2-3,5 mm). Para el 20 % de RAP se alcanza la mejor relación estabilidad-deformación de las mezclas recicladas.



Análisis de los resultados para diferentes temperaturas de ensayo de la mezcla reciclada con 20 % de RAP

A partir del análisis de los resultados obtenidos para diferentes porcentajes de RAP y contenidos de asfalto, se determinó que la mezcla reciclada con mejores resultados es la que contiene 20 % de RAP. Con este porcentaje de RAP, se analizó la influencia de la variación de la temperatura en las mezclas recicladas.

La figura 9 muestra que para la mezcla patrón el porcentaje óptimo se encuentra entre 4,5 y 5 % de asfalto, más cercano a 5 %. Los tres valores de porcentajes de asfalto de las mezclas recicladas se encuentran en la rama de ascenso de la densidad. Las densidades de las mezclas recicladas han disminuido ligeramente respecto a la mezcla patrón, sin embargo, este parámetro no han experimentado ninguna variación para las diferentes temperaturas a excepción de la densidad correspondiente a la mezcla reciclada fabricada a 160°C.

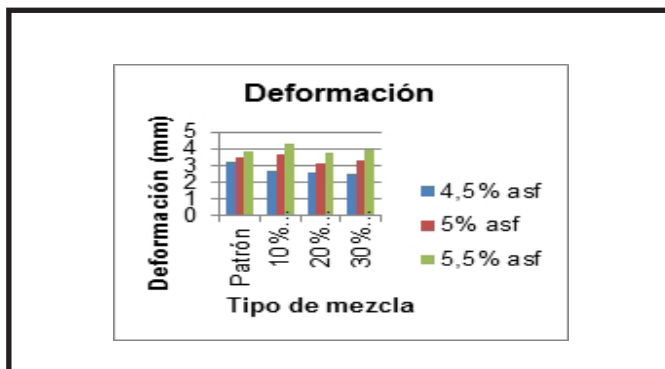


Fig. 7. Estabilidad (izq) y deformación (der) de las mezclas con diferentes porcentajes de RAP.

Los resultados de la tracción indirecta de las mezclas con RAP respecto a la patrón tiende a ser inferior (figura 8), excepto para las mezclas con 5 % de asfalto donde los resultados son similares para todas las mezclas con RAP y respecto a la patrón. Se evidencia una vez más la relación entre el porcentaje de RAP y el contenido de asfalto necesario. Para bajos contenidos de asfalto (4,5 %) la tracción indirecta disminuye con el aumento del porcentaje de RAP y para 5,5 % de asfalto, este parámetro aumenta con el incremento del RAP.

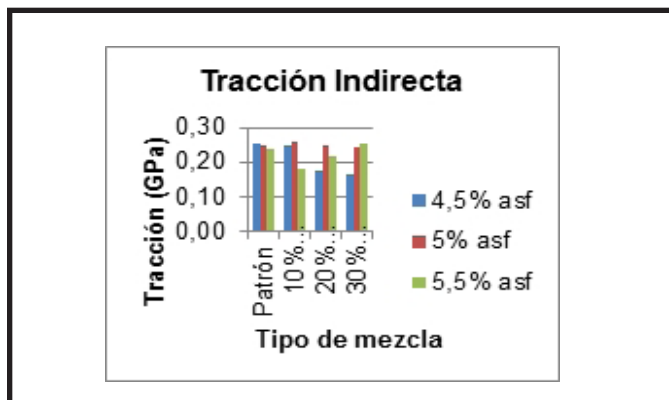


Fig. 8. Parámetros evaluados en las mezclas con diferentes porcentajes de RAP.

Significa que la reducción de la densidad de cada porcentaje de asfalto de las mezclas recicladas respecto a la mezcla patrón no se debe al incremento de la temperatura sino a la utilización de la cantidad de material reciclado en sustitución del árido original siendo este de menor peso específico. Los resultados obtenidos son independientes del porcentaje de asfalto añadido a la mezcla, este no ha influido en la reducción de densidad.

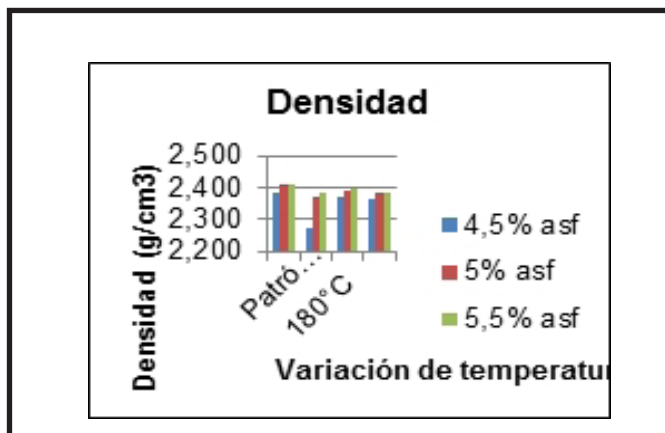


Fig. 9. Densidad de las mezclas con 20 % de RAP a diferentes temperaturas.

El porcentaje de huecos en mezcla, representados en la figura 10 izq., para todos los porcentajes de RAP sigue la misma tendencia, disminuye a medida que se incrementa el contenido de asfalto. Se obtienen resultados similares para todas las mezclas excepto para la elaborada a 160 °C con 4,5 %; donde el contenido de asfalto y la temperatura de fabricación son insuficientes para lograr una adecuada compactación y porcentajes de huecos. Solamente para la adición del 5 % de asfalto se cumple el rango de huecos establecido en la NC 253: 2005 (4-6 %) [13]. En el caso de los huecos en áridos (figura 10 der.), este parámetro de manera general disminuye respecto a la mezcla patrón y se obtienen valores por debajo del rango establecido en la NC 253: 2005 (14-16 %) para mezclas semidensas [13].

La estabilidad de las mezclas para todas las temperaturas tienen el mismo comportamiento, disminuyen con el incremento del porcentaje de asfalto, haciéndose más notable esta disminución para el 5,5 % de asfalto (figura 11 izq.). Para los porcentajes de asfalto de 4,5 % y 5 % los valores de estabilidad para todas las mezclas y temperaturas ensayadas son similares. Se observan resultados similares entre todas las mezclas, incluso en algunos casos ligeramente superiores a la mezcla patrón. Se puede decir que para este parámetro, el aumento de temperatura no influye.

La deformación para todas las mezclas describe igual tendencia (figura 11 der.). En relación con los resultados de la estabilidad, este ensayo evidenció que las mezclas con 5,5% de asfalto son más deformables debido a que el incremento de temperatura aumenta la participación del asfalto envejecido (contenido en el RAP) en la mezcla.

Para la mezcla patrón y las fabricadas con 180 °C y 200 °C (figura 12), la tracción indirecta disminuye al aumentar el contenido de asfalto y se obtienen resultados similares entre ellas. Para 5 % se obtienen los mejores resultados.

En general, sobre las mezclas recicladas podría plantearse que hay relación entre el porcentaje de RAP y el de asfalto, pues para menores adiciones de RAP los mejores resultados se alcanzan con los valores inferiores de porcentaje de asfalto y viceversa. Los mejores resultados se obtuvieron para porcentajes de RAP del 20 % con 5 % de asfalto. En cuanto a las temperaturas de trabajo, es posible mantener las tradicionales para combinaciones específicas de contenido de RAP y porcentaje de asfalto.

Análisis de los resultados de adicionar la zeolita natural cubana en forma de filler

La densidad disminuye al incrementarse el porcentaje de zeolita natural, describiendo para los dos contenidos de asfalto, similar tendencia (figura 13 arriba).

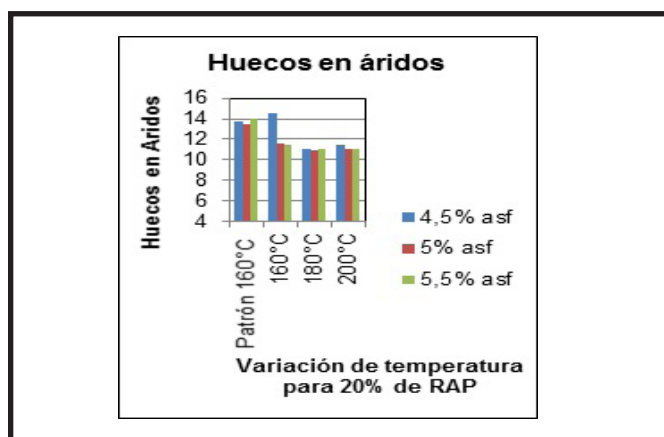
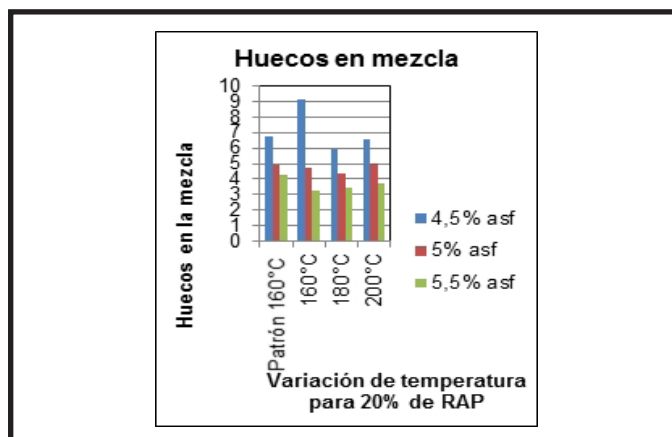


Fig. 10. Porcentaje de huecos en mezclas (izq.) y en áridos (der.) de las mezclas con 20 % de RAP a diferentes temperaturas.

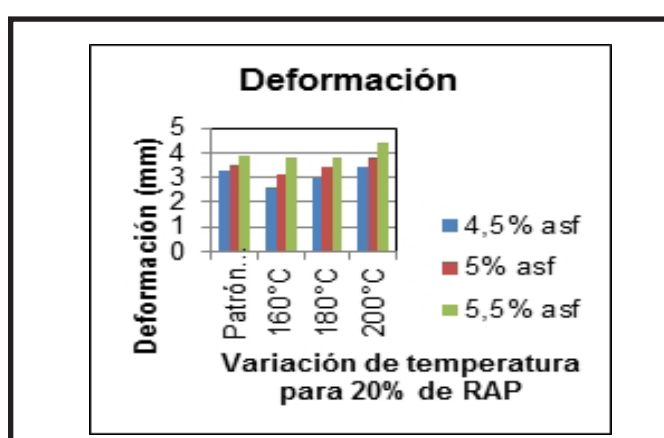
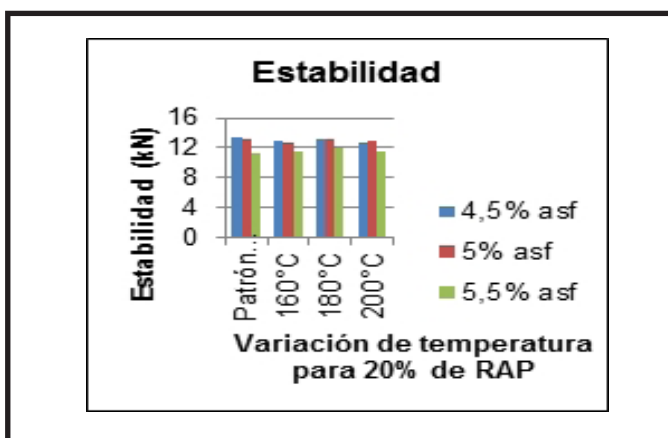


Fig. 11. Estabilidad (izq.) y deformación (der.) de las mezclas con 20 % de RAP a diferentes temperaturas.

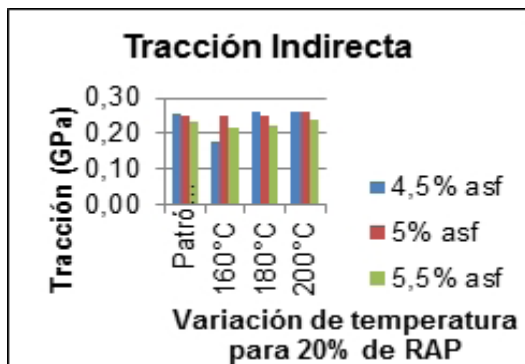


Fig. 12. Tracción Indirecta de las mezclas con 20 % de RAP a diferentes temperaturas.

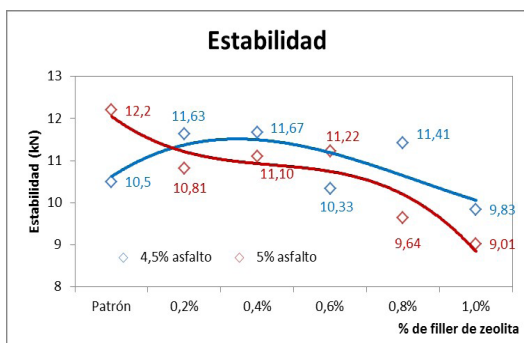
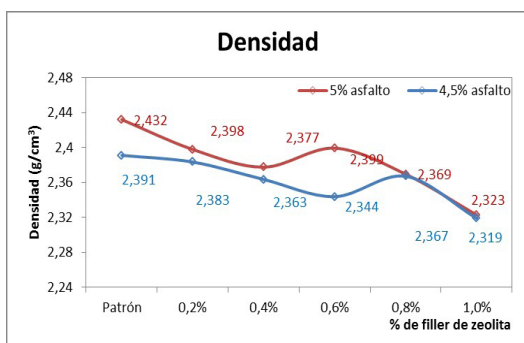


Fig. 13. Densidad (arriba) y estabilidad (abajo) de las mezclas con zeolita en forma de filler

En la mezcla patrón es diferente para ambos contenidos de asfalto, sin embargo, en la medida en que se aumenta el porcentaje de zeolita natural estas diferencias se reducen, siendo más notable para 1 % del mineral, por el exceso de humedad contenida. Para ambos contenidos de asfalto, los resultados para 0,8 % y 1,0 % de filler de zeolita son muy similares, por lo que para las condiciones de diseño de este experimento, el aditivo deja de influir para porcentajes superiores a 0,6 %.

Los resultados de la estabilidad Marshall (figura 13 abajo) muestran que el incremento de zeolita de 0,2 a 0,8 %, con 4,5 % de asfalto, hace que aumente la resistencia de las mezclas, incluso con valores superiores a la mezcla patrón. En cambio para 5 % de asfalto, la estabilidad de las mezclas con zeolita es menor que la de la mezcla patrón. No obstante, hay una ligera tendencia a aumentar la resistencia con el incremento del aditivo, del 0,2 al 0,6 %, a partir del cual disminuye nuevamente. Una vez más se observa que para 1% de zeolita la disminución es más notable.

El ensayo de estabilidad retenida se desarrolla según la especificación de la NC 261: 2005 (mayor al 75 %) [14]. Se observa que la estabilidad retenida disminuye con el aumento del porcentaje de filler de zeolita, para los dos contenidos de asfalto empleados. Solamente para un rango de zeolita de 0,2 % a 0,8 % y 5 % de asfalto se obtuvieron valores por encima del 75 %. Ver figura 14.

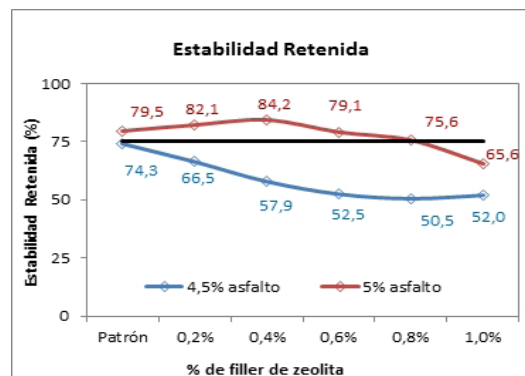


Fig. Fig. 14. Estabilidad retenida por tracción indirecta de las mezclas con zeolita en forma de filler

Análisis de los resultados de adicionar la zeolita en forma de arena

Se determinó la densidad de las probetas y el porcentaje de huecos en mezcla, también se ensayaron a estabilidad Marshall y deformación.

En la figura 15 izq., se observa que a medida que aumenta el porcentaje de arena de zeolita natural, disminuye la densidad de las mezclas. Esto se debe a que la zeolita es menos densa que los áridos; además, está relacionado con el efecto de espumado que produce sobre el asfalto, ya que se incrementa la cantidad de agua expulsada por el material, lo que dificulta la preparación de la mezcla y es más difícil mantener la temperatura del mezclado, lo que afecta la densidad y la compactación.

El comportamiento de los huecos en mezcla (figura 15 der.), está en correspondencia con los valores de densidades de las mezclas.

A medida que disminuye la densidad de las mezclas aumentan los porcentajes de huecos en la mezcla, a tal

punto que para el 20 % de arena, la mezcla no cumple con las condiciones impuestas para soportar las cargas del tráfico más exigentes.

Para el tipo de mezcla y contenido de betún ensayado, el aumento de la cantidad de zeolita como arena hasta un 10 % hace que aumente la estabilidad Marshall de las mezclas (figura 16 izq.). Para porcentajes de zeolita como arena superiores al 10 % la estabilidad comienza a disminuir. Para una adición del 6 % del aditivo se obtienen resultados similares a los de la mezcla patrón. En este caso la granulometría del aditivo favoreció la estabilidad de las mezclas.

En cuanto a la deformación (figura 16 der.), no se observan diferencias entre las mezclas analizadas, excepto para un 6 % de zeolita donde el valor es inferior.

Como prueba adicional a los ensayos Marshall, se realizó la medida del módulo de rigidez en las mezclas a las que se le añade 0,3 % de filler y 10 % de arena de zeolita ya que para el primer caso coincide con el porcentaje definido en la bibliografía para la adición de zeolitas sintéticas y en el caso del 10% porque es el contenido que, por la granulometría de la zeolita, contiene un 0,3 % de filler. Se consideraron la temperatura media de los pavimentos en Cuba (30 °C) y la de cálculo para el diseño de los pavimentos (50 °C), según la norma vigente.

Para 30 °C, el resultado del módulo de rigidez (figura 17) expone igual comportamiento al descrito por la estabilidad Marshall. Las mezclas con 0,3 % de filler de zeolita, presentan resultados inferiores a la mezcla patrón. Este resultado confirma las conclusiones expuestas en la estabilidad Marshall, de que la adición en forma de arena favorece la resistencia de la mezcla. Cuando las condiciones son más desfavorables (50°C), el módulo de rigidez disminuye para todos los casos debido al mayor reblandecimiento del asfalto.

En relación con la influencia de la cantidad de zeolita añadida en la mezcla, en forma de filler y de arena se obtuvo como resultado que la fracción gruesa y sus propiedades zeolíticas como mineral, favorecen la estabilidad de las mezclas, obteniéndose resultados similares y superiores a una mezcla convencional de referencia. Cuando se supera el contenido necesario del mineral para lograr un adecuado espumado del asfalto, la mezcla pierde temperatura con mayor rapidez por exceso de agua expulsada; afectando la preparación de las muestras y sus propiedades.

Para las condiciones y materiales empleados en este experimento, se obtienen mejores resultados en las mezclas para un 0,6 % de adición de filler y 6 % de arena. Se proponen como rangos a añadir: entre 0,4-0,6 % de filler y 4-6 % de zeolita natural cubana.

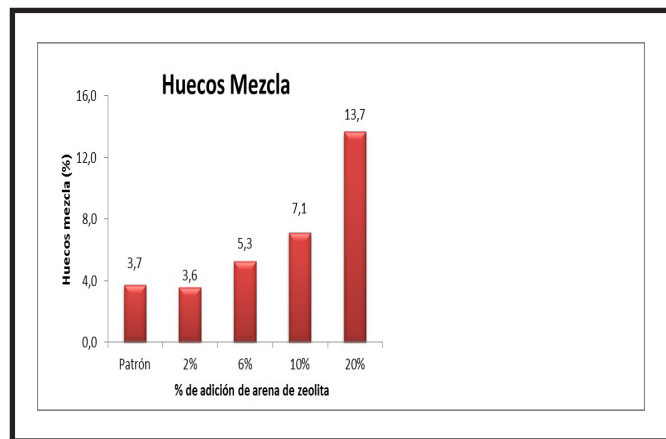
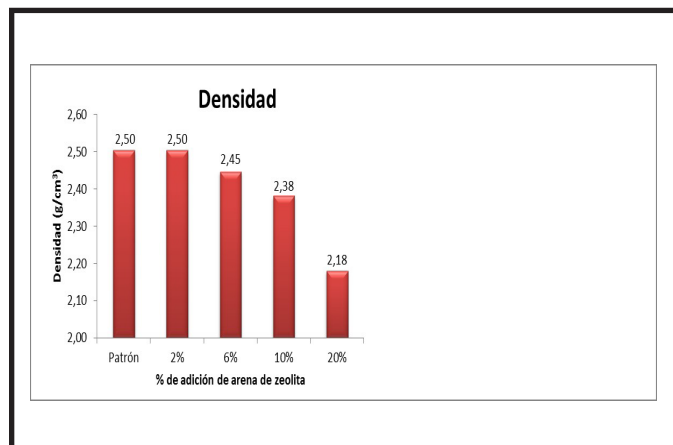


Fig. 15. Densidad (izq.) y huecos en mezcla (der.) de las mezclas con zeolita en forma de arena.

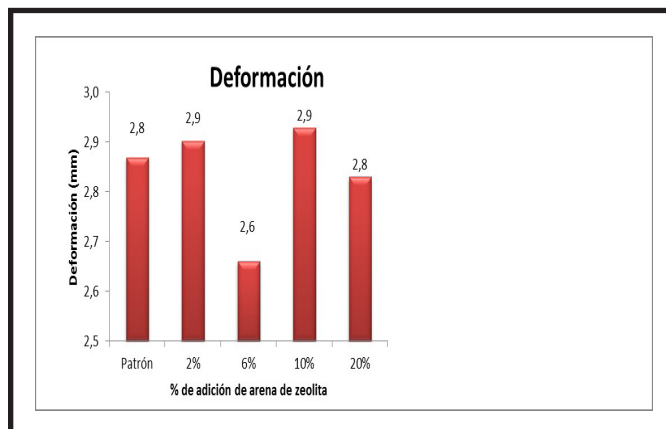
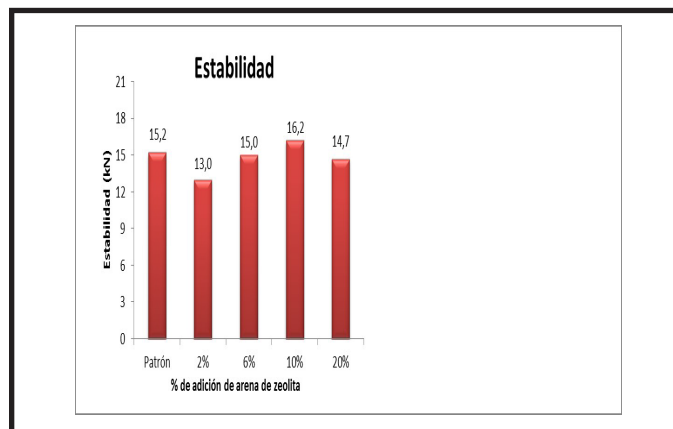


Fig. 16. Estabilidad (izq.) y deformación (der.) de las mezclas con zeolita en forma de arena.

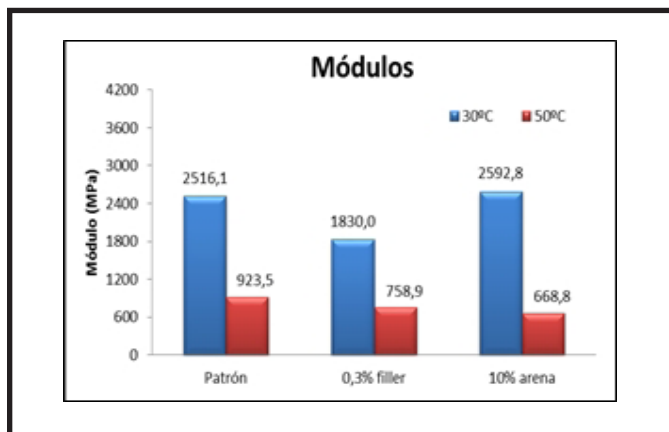


Fig. 17. Módulo de rigidez para la variación de la granulometría y porcentaje de zeolita.

A pesar de obtener valores de sensibilidad al agua superiores a los establecidos en las normas, se observaron problemas de cubrimiento de los áridos, fundamentalmente cuando el porcentaje de aditivo es más elevado (1 %); el agua expulsada se encuentra en exceso, provocando problemas de adherencia entre los materiales. Se plantea que el ensayo de sensibilidad al agua es una prueba imprescindible para valorar el comportamiento en las mezclas semicalientes.

CONCLUSIONES

En el estudio de las mezclas recicladas, las variaciones obtenidas en los parámetros de diseño no justifican un incremento de la temperatura para lograr un mejor comportamiento de estas, máxime cuando esto tendría un costo económico y ambiental evidente.

Los resultados alcanzados demuestran la factibilidad de obtener a partir de los materiales y condiciones tecnológicas de Cuba mezclas asfálticas semicalientes y recicladas.

Las soluciones mostradas en la investigación contribuyen a reducir el impacto ambiental negativo que provocan los procesos constructivos desarrollados durante las labores de construcción o rehabilitación de las carreteras.

RECONOCIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer a los compañeros de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) de la provincia La Habana, a la Universidad Politécnica de Valencia y al Laboratorio de Ingeniería de la Construcción (LabIC) de la Universidad de Granada, estas dos últimas de España.

REFERENCIAS

1. ALONSO AENLLE, Anadelys. "Obtención de una mezcla asfáltica semicaliente a partir de la utilización de zeolita natural cubana del yacimiento de Tasajera".

Director: Eduardo Tejeda Piusseaut, Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba, 2012.

2. CORDERO, Alberto; MAÑAS, Pilar; CALVO, Be-goña. "Estudio del uso de zeolita en las propiedades de las mezclas bituminosas calientes". *Carreteras*, vol. 188, pp. 41-49. 2013.
3. HAGGAG, M. M.; MOGAWER, W. S.; BONAQUIST, R. "Fatigue evaluation of warm mix asphalt mixtures using uniaxial cyclic direct tension compression test". in TRB 90th Annual Meeting: Washington D.C, 2011.
4. HANZ, A. J. "Quantifying the Impacts of Warm Mix Asphalt on Constructability and Performance". Director: Ph.D. Dissertation, 2012.
5. NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION (NAPA). "Warm-mix asphalt: The wave of the future". 2008.
6. "Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt". National Cooperative Highway Research Program. NCHRP, 691. Washington D.C., 2011.
7. ALONSO AENLLE, Anadelys; TEJEDA PIUSSEAUT, Eduardo *et. al.* "Estudio de laboratorio sobre utilización de zeolita natural versus zeolita sintética en la fabricación de mezclas semicalientes". *Materiales de Construcción*, vol. 63 (310). 0465-2746: pp. 195-217. 0465-2746. 2013.
8. HILL, Brian; BEHNIA, Behzad *et. al.* "Evaluation of Warm Mix Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement through Mechanical Performance Tests and an Acoustic Emission Approach". *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. pp.1887-1897. 0899-1561, 2013.
9. MORENO NAVARRO, Fernando M. "Análisis de las actuaciones de reciclado de firmes en frío realizadas en el Sur de España". Director: Dra. María del Carmen Rubio Gámez. Tesis de Curso, España, 2009.
10. RONDÓN QUINTANA, Hugo Alexander; OLAVE VALLESTEROS, Nelly Rocío *et. al.* "Comportamiento de una mezcla asfáltica tibia reciclada". in II Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, La Habana, Cuba. 2014.
11. KILAS, Mindaugas; VAITKUS, Audrius; PALIUKAITÉ, Miglé. "Warm Mix Asphalts research, analysis and evaluation". in 10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques. Lithuania: Vilnius Gediminas Technical University, pp. 149-155, 2010.
12. VAIANA, Rosolino; IUELE, Teresa; GALLELLI, Vincenzo. "Warm Mix Asphalt with Synthetic Zeolite: a Laboratory Study on Mixes Workability". *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 6, núm. 5, pp. 562-569. 1997-1400, 2013.
13. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Cubana. NC: 253/2005. "Carreteras-Materiales Bitumi-

nosos-Hormigón Asfáltico Caliente-Especificaciones". NC: 253/2005. Cuba, 2005.

- 14.OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Cubana. NC: 261/2005. "Determinación del contenido óptimo de asfalto empleando el equipo Marshall". NC: 261/2005. Cuba. 2005.

AUTORES

Reynier Moll Martínez

Ingeniero Civil, Máster en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar, Departamento de Viales, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Anadelys Alonso Aenlle

Ingeniera Civil, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Auxiliar, Departamento de Viales, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana Cuba

Mirna González Lobera

Ingeniera Civil, Instructora, Departamento de Viales, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Hot Mix Asphalt of Low Environmental Impact for the Rehabilitation of Roads in Cuba

Abstract

In order to reduce the negative environmental impact caused by the production of hot mix asphalt and waste generation during road maintenance work, new process have been developed internationally. They are the warm mix asphalt, produced at lower temperatures than conventional and the recycled asphalt pavement, obtained by mixing with virgin material during milling resulting from rehabilitation activities. The research presented in this paper analyzes both alternatives, at the laboratory level, with the objective to evaluate its introduction in road maintenance in Cuba. For the warm mix asphalt was added a natural zeolite in different percentages in the form of sand and filler. For three mixtures recycled content of RAP and three mixing temperatures were evaluated. The mixes were given the Marshall tests, and their moisture sensitivity and stiffness modulus values were also obtained. The mixes were compared with a standard mix. This study demonstrated that the use of natural zeolite is an effective way of reducing the temperature of bituminous mixes, and adding 20 % similarity to the RAP with reference standard mixture.

Key words: environmental impact, warm mix asphalt, recycled, natural zeolite, road maintenance