

Resistencia monotónica de una mezcla asfáltica modificada con asfalto natural por vía seca

JULIO C. BEDOYA M.¹
(bedoyamoreno@gmail.com)

NÉSTOR I. PAREDES N²
(neipana@yahoo.es)

NIDIA A. MEDINA B³
(namb19@yahoo.es)

VÍCTOR A. GUTIÉRREZ P⁴
(vagutierrezp@hotmail.com)

Recibido: 2 de Octubre de 2012
Aprobado: 12 de Octubre de 2012

Resumen

El trabajo de investigación objeto del presente artículo evaluó el comportamiento de una mezcla densa en caliente MDC-2 (de acuerdo con la especificación INVIAS 450-07) cuya granulometría fue modificada mediante la inclusión por vía seca de asfalto natural. La elaboración de dicha mezcla se realizó con AC 60/70 y AC 80/100 respectivamente; además, se realizaron probetas con mezclas convencionales utilizando los mismos insumos (agregados pétreos y cemento asfáltico), teniendo como propósito confrontar el comportamiento de estas mezclas convencionales y modificadas. Concluyendo con un aumento en la estabilidad de la mezcla elaborada con AC 60/70, y la manifestación general de un cambio en estructura mineral reflejada en un aumento de los vacíos con aire (VA).

Palabras claves: Mezcla densa en caliente, mezcla asfáltica modificada, asfalto, asfalto natural, vía seca, asfalto modificado, asfaltita, carga monotónica.

Abstract

The research subject of this article, evaluated the behavior of a dense hot mix MDC-2 (according to the specification INVIAS 450-07) whose grain size was modified by including asphalt by dry naturally, the development of such AC was mixed with 60/70 and AC 80/100 respectively; further samples were made with mixtures thereof with conventional inputs (stone aggregates and asphalt cement) in order to compare the behavior of these mixtures conventional and modified. Concluding with an increased stability of the mixture prepared with AC 60/70, and the general manifestation a change in mineral structure reflected in increased air gaps (VA).

Keywords: Hot dense mix, modified hot mix, asphalt, natural asphalt, dry way, modified asphalt, monotonic loading.

1. Introducción

Debido al incremento del transporte de carga pesada por las carreteras del país, asociado a la entrada en vigencia de los tratados de libre comercio suscritos por la nación, el deterioro de la red vial colombiana se ha incrementado; por lo cual, surge la necesidad de construir nuevas vías, además de rehabilitar y mantener las exis-

tentes; aunado a lo anterior, y debido a la alta influencia del asfalto como insumo principal en la construcción de mezclas asfálticas, es necesario desarrollar tecnologías tendientes al uso de insumos naturales de fácil acceso y amplia disponibilidad que garanticen un comportamiento óptimo en servicio de dichas mezclas de acuer-

¹Especialista en Diseño y Construcción de Vías y Aeropistas de la Escuela de Ingenieros Militares.

²Especialista en Diseño y Construcción de Vías y Aeropistas de la Escuela de Ingenieros Militares.

³Especialista en Diseño y Construcción de Vías y Aeropistas de la Escuela de Ingenieros Militares.

⁴Especialista en Diseño y Construcción de Vías y Aeropistas de la Escuela de Ingenieros Militares.

do con la normatividad vigente, con el fin de plantear su utilización dentro de las estructuras de pavimento diseñadas a futuro.

Por lo anterior, se planteó, como objetivo principal del trabajo de investigación, evaluar el comportamiento mecánico que presenta una mezcla asfáltica densa en caliente al ser modificada su granulometría por vía seca mediante la inclusión de un modificador natural (asfaltita), para evaluar mediante un análisis de laboratorio las mejoras o condiciones desfavorables relativas a una mezcla de referencia, la cual cumple las especificaciones mínimas exigidas por la normatividad colombiana.

El cumplimiento del objetivo propuesto se logró mediante la experimentación, fabricando briquetas de mezcla densa en caliente, utilizando cemento asfáltico de penetración 60/70 y 80/100 en diferentes concentraciones (4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5%), y elaborando briquetas con el mismo asfalto y dosificación, modificando la granulometría reemplazando el peso del material retenido en el tamiz N° 80 (granulometría original), por un peso equivalente de asfaltita triturada, tamizada y retenida en el mismo tamiz, con el propósito de conservar las características de la granulometría original.

2. Fundamentación teórica

2.1 Asfalto Natural: El asfalto natural es un material bituminoso natural en estado sólido compuesto por hidrocarburos de alto peso molecular en estratos que pueden ir de algunos centímetros a decenas de metros de espesor. Presentan gran variedad en su dureza por lo que su punto de fusión puede ir de los 100 a más de 300 grados centígrados, determinando una subclasificación dentro de este tipo de material.

Los contenidos de otros materiales dentro de la veta son escasos por lo que se considera como un asfalto sólido puro. Los solventes son muy escasos, debido tal vez a su formación metamórfica, la cual genera, gracias a las grandes presiones y temperaturas, la pérdida casi total de su contenido de solventes⁵.

2.2 Clasificación del asfalto natural:

Existe una gran variedad de depósitos de asfalto natural que se pueden separar en tres grandes grupos:

Asfaltos con alto contenido de bitumen: Dentro de este grupo están clasificados los asfaltos sólidos o asfaltitas. Poseen un contenido de bitumen mayor del 80%. Se encuentran en forma de vetas y bolsas que atraviesan generalmente estratos del cretáceo con espesores de pocos centímetros hasta varios metros, contienen pocas impurezas o materia orgánica insoluble, y presentan un alto contenido de asfaltenos. Sus puntos de ablandamiento son altos, mayores de 132 °C.

Según sus características físicas se agrupan en tres tipos:

- Gilsonita:** Es uno de los asfaltos nativos de mayor pureza; posee baja gravedad específica, bajo carbón fijo y bajo contenido de azufre.
- Grahamita:** Presenta un alto contenido de carbón fijo; al aplicarle calor se hincha pero no se funde. Su color en polvo es más negro que las demás asfaltitas.
- Giace Pitch:** Es un intermedio entre la gilsonita y la grahamita. Tienen un punto de fusión y gravedad específica más altos.

2.2.1 Asfaltos con medio contenido de bitumen:

Generalmente se presentan como un depósito de afloramiento, de unos pocos metros cuadrados o en extensiones que abarcan varias hectáreas (Lagos de asfalto). Contienen bitumen en proporción del 15% al 80% y se encuentran asociados con materiales pétreos tipo gravas, arcillas, arenas y materia orgánica.

2.2.2 Asfaltos con bajo contenido de bitumen:

Áridos (rocas y suelos) asociados con proporciones reducidas de productos bituminosos (rocas asfálticas). Estos depósitos normalmente consisten en vetas, bolsas o impregnaciones de estratos, por lo general areniscas, con espesores de pocos centímetros hasta varios metros. Con menos frecuencia se han encontrado asociados con pizarras y lutitas algo calcáreas o en intercalación de depósitos de cal-

⁵SAGANOME A. Pedro. Los asfaltos naturales colombianos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, Oficina de investigaciones y desarrollo tecnológico, 1999. p. 5.

cita. La proporción de bitumen es menor que la existente en un lago de asfalto y generalmente varía entre el 3% y el 15%, aunque puede llegar hasta el 40%.

2.3 Mezcla asfáltica en caliente: Las mezclas asfálticas en caliente son la combinación de agregados pétreos uniformemente mezclados y recubiertos por cemento asfáltico. Para secar los agregados y obtener suficiente fluidez del cemento asfáltico y adecuada trabajabilidad y mezclado, tanto el agregado como el asfalto deben ser calentados antes del mezclado; de ahí el término “mezcla en caliente”. Las mezclas asfálticas en caliente pueden ser producidas para un amplio rango de combinaciones de agregados, cada uno con sus características particulares adecuadas al diseño específico y a sus usos en la construcción.⁶

2.3.1 Comportamiento ideal de una mezcla asfáltica: Una mezcla asfáltica ideal debe tener las siguientes características⁷

- Baja rigidez o viscosidad a las temperaturas normales de manejo en planta y colocación en obra.
- Alta rigidez a las temperaturas altas de servicio para reducir el ahuellamiento.
- Baja rigidez y buenas características elásticas a temperaturas bajas de servicio para reducir el riesgo de la aparición de fisuras por cambios de temperatura.
- Buenas características adherentes en presencia de humedad, con el propósito de reducir el stripping (remoción por acción del agua del ligante bituminoso de los agregados pétreos).

2.4 Asfaltos modificados: Según el artículo escrito por el ingeniero Hugo Alexander Rendón Quintana: “Resistencia mecánica evaluada en el ensayo Marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con asfalto modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC)” publicado en la Revista de Ingeniería de la Universidad de Medellín, un asfalto modificado es aquel al que se le adicionan productos como látex, polietileno, cal, cemento, azufre, asfaltenos

naturales, hule molido de neumáticos, aceites, resinas, fibras de acero, vidrio o asbesto entre otros, con el fin de modificar o mejorar algunas de sus características mecánicas y reológicas. Una mezcla asfáltica modificada es la combinación de material pétreo y ligante asfáltico modificado.

2.5 Mezcla asfáltica en caliente con asfalto natural: Las mezclas asfálticas en caliente con asfalto natural pueden ser definidas como la combinación de agregados pétreos uniformemente mezclados y recubiertos por cemento asfáltico, con la adición de una porción de asfalto natural, garantizando una granulometría acorde a la requerida en las especificaciones técnicas de construcción empleadas.

3. Trabajo de Campo

Se elaboró una mezcla asfáltica tipo MDC-2 según especificaciones del Instituto Nacional de Vías INVIAS, especificación 450-07, variando los contenidos de asfalto. Los materiales utilizados son los siguientes:

- Agregados pétreos provenientes de las fuentes ríos Coello y Melgar.
- Cemento asfáltico 60-70 y 80-100, provienen de las refinerías de la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol).
- Asfalto natural (triturado pasa tamiz N° 4) proveniente de la mina San Alberto (Cesar, Colombia).

En total se elaboraron 100 probetas cilíndricas de aproximadamente 101.6 mm (4”) de diámetro y 63.5 mm (2½”) de altura, las que posteriormente se rompieron en la prensa Marshall para determinación de su estabilidad y deformación. A continuación se resume la distribución de las probetas elaboradas:

⁶MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos: Evaluación estructural, obras de mejoramiento, y nuevas tecnologías. 3 ed. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia, 2006. p. 91-92.

⁷ARENAS LOZANO, Hugo León. Tecnología del Cemento Asfáltico. Cali: Faid, 4 ed. 2005. p. 283.

	AC	N° Briquetas / % De Asfalto					Sub Total
		4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	
Sin Asfalto Natural	60-70	5	5	5	5	5	25
	80-100	5	5	5	5	5	25

Con Asfalto Natural	60-70	5	5	5	5	5	25
	80-100	5	5	5	5	5	25

Total Muestras	100
-----------------------	------------

La granulometría empleada se ajustó según lo requerido por la norma ya mencionada, utilizando la siguiente distribución en función del porcentaje de asfalto de cada briqueta:

La curva granulométrica que refleja los datos relacionados es la siguiente:

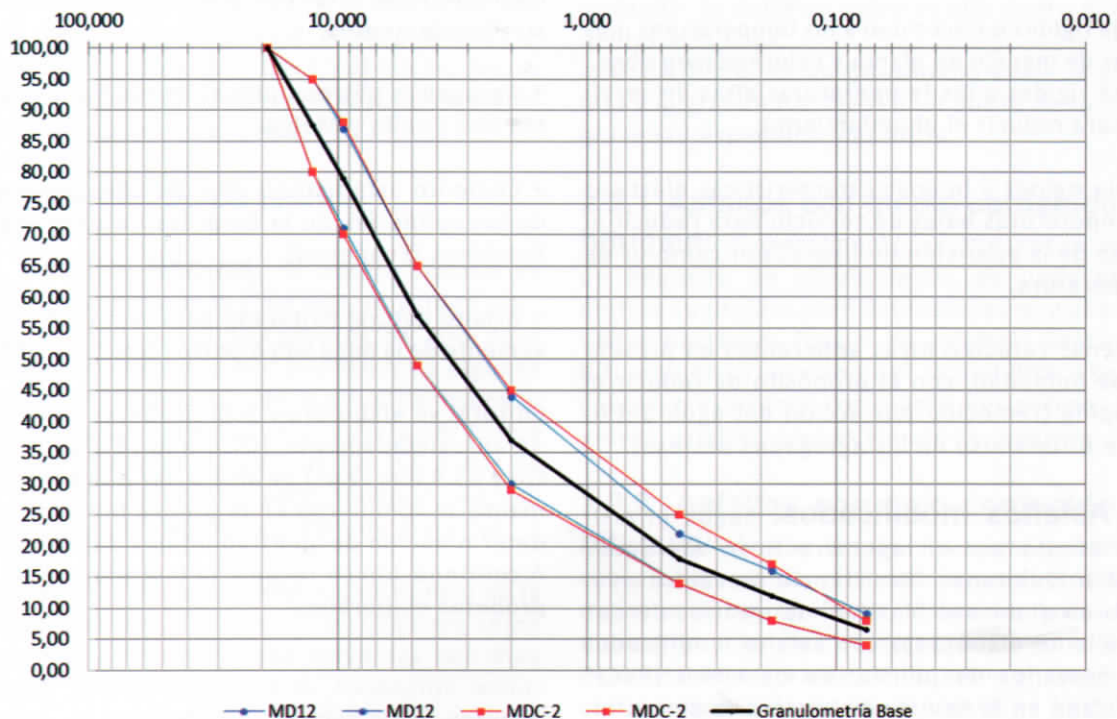


Figura 1. Granulometría Base, Husos Granulométricos MDC-2 y MD12
Fuente: Los Autores, 2012

En el caso de las briquetas elaboradas incluyendo asfalto natural, se sustituyó el 100% de agregado pétreo retenido en el tamiz N° 80 por el mismo peso en asfalto natural retenido en dicho tamiz. El tamiz de remplazo es justificado en el hecho de que es uno de los de mayor aporte en cantidad de retenido en el asfalto natural triturado (35.7%) y por ser el más fino dentro de estos de mayor aporte, se infiere o asume, una mayor superficie específica en sus granos y, por ende, un mayor cubrimiento de ligante asfáltico.

Una vez elaboradas las briquetas se llevó a cabo el procedimiento para obtener el peso en aire, el peso sumergido y el peso superficialmente seco de cada biqueta.

Posteriormente, se lleva a cabo el procedimiento descrito en la Norma INVIAS E-748-07 "Resistencia de mezclas asfálticas en caliente, empleando el aparato Marshall" con el propósito de determinar los valores de estabilidad y flujo de cada espécimen, aplicando la carga sobre la probeta con la prensa a una rata de defor-

mación constante de 50.8 mm (2") por minuto, hasta que ocurra la falla, es decir, cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye, según se lea en el dial respectivo. Es de anotar que la carga bajo la cual se realizó el ensayo es de carácter monotónica.

Los resultados obtenidos luego de la realización del ensayo Marshall son los relacionados en las siguientes tablas, aclarando que estos, corresponden al resumen total de los ensayos practicados.

4. Normatividad Vigente

La mezclas densas en caliente deben cumplir los requisitos relacionados a continuación, según las categorías de tránsito NT1, NT2 y NT3, establecidas por el artículo INVIAS 450-07 en su Tabla 450.4 "Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall" y Tabla 450.5. "Criterios de comprobación del diseño volumétrico de la fórmula de trabajo".

CARACTERÍSTICA		NORMA DE ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS		
			CATEGORÍA DE TRÁNSITO		
			NT1	NT2	NT3
Compactación (golpes/cara)		E-748	50	75	75
Estabilidad mínima (kg)		E-748	500	750	900
Flujo (mm)		E-748	2 - 4	2 - 4	2 - 3.5
Relación Estabilidad / Flujo (kg/mm)		-	200 a 400	300 a 500	300 a 600
Vacíos con aire(Va)*, %	Rodadura	E-736 o E-799	3 - 5	3 - 5	4 - 6
	Intermedia		4 - 8	4 - 8	4 - 7
	Base		-	5 - 9	5 - 8
Vacíos en los agregados minerales (VAM), %	Mezclas 0	E-799	>13	>13	>13
	Mezclas 1		>14	>14	>14
	Mezclas 2		>15	>15	>15
	Mezclas 3		>16	>16	>16
% de vacíos llenos de asfalto (VFA) (Volumen de asfalto efectivo / Vacíos en los agregados minerales) x 100 Capas de rodadura e intermedia.		E-799	65 - 80	65 - 78	65 - 75

Tabla 2. Requisitos para mezclas asfálticas, según categorías de tránsito NT1, NT2 Y NT3⁸

⁸Especificaciones generales de construcción de carreteras - Artículo 450.

5. Diagnóstico

Los siguientes son los hallazgos evidenciados en el comportamiento de las mezclas asfálticas elaboradas de una manera convencional frente aquellas modificadas en la granulometría por vía seca mediante la inclusión de un modificador natural.

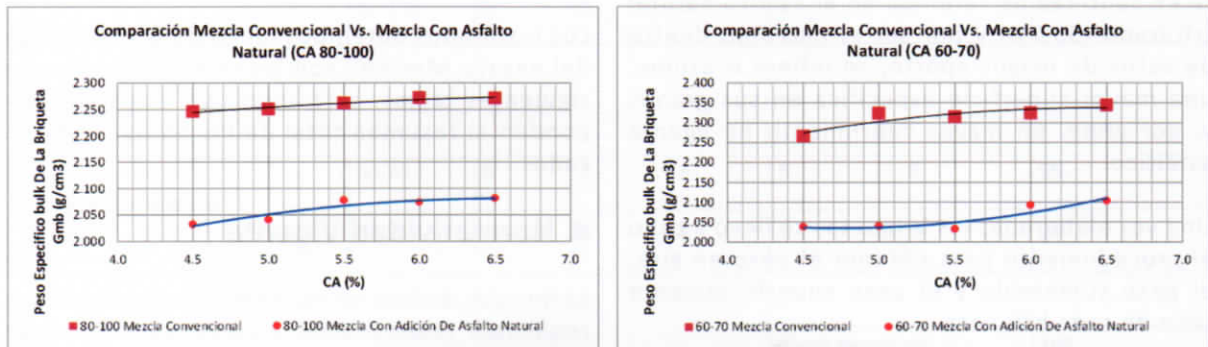


Figura 2. Comportamiento Peso Específico Bulk
Fuente: Autores, 2012

En la Figura 2 se observa la pérdida de peso específico al comparar las mezclas convencionales con las modificadas con adición de asfalto natural, dicha disminución obedece presuntamente a los cambios en los pesos específicos de los agregados inicialmente utilizados Gsb 2.70 y los de los componentes de la matriz pétreo del asfalto natural que es de aproximadamente 1.10⁹.

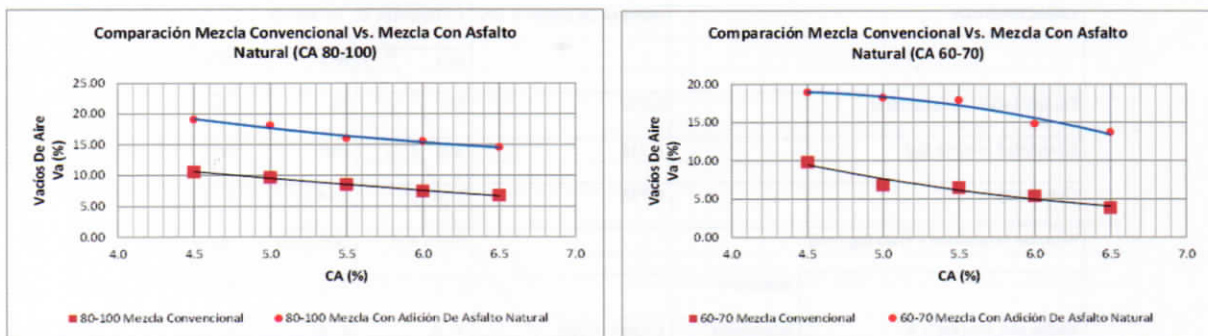


Figura 3. Comportamiento vacíos con aire (VA)
Fuente: Autores, 2012

Según la Figura 3, los vacíos con aire en las mezclas compactas (Va) presentan un incremento para los dos tipos de asfalto 60-70 y 80-100. Aun cuando este debiera reducirse por el incremento de asfalto dado al aporte de ligante que ofrece el asfalto natural, la condición es contraria, con lo cual se pudiera presumir la incidencia en el cambio de granulometría generado por la matriz pétreo contribuida por el asfalto natural.

Por lo anterior, se presume la presencia de mezclas modificadas de granulometría más gruesa, debido a una mayor relación entre las proporciones de agregado grueso y el fino.

⁹RONDÓN, H. A., REYES, F. A., Comportamiento de una mezcla densa en caliente elaborada con asfaltos modificados con asfaltita, Medellín: Revista Tecno Lógicas Vol. 22, 2009.

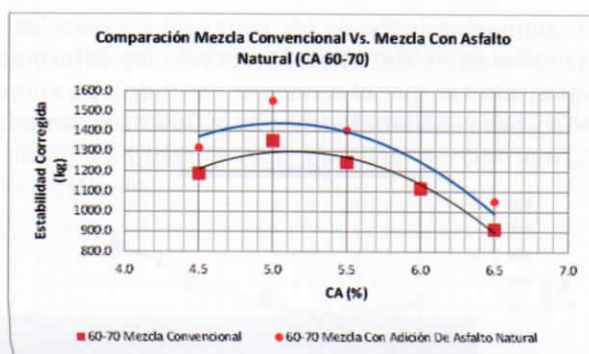
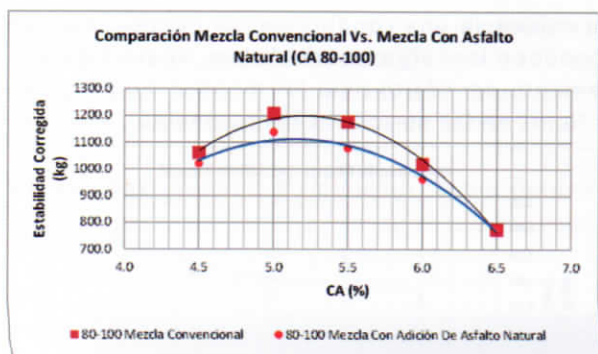


Figura 4. Comportamiento Estabilidades
Fuente: Autores, 2012

En la Figura 4 se aprecia, para las mezclas con asfaltos de penetración 80-100 modificadas con adición de asfalto natural, una disminución en la estabilidad Marshall frente a las mezclas con asfaltos 80-100 convencionales, estado que se presenta para los diferentes porcentajes de asfalto aun cuando disminuyendo la diferencia para los valores extremos de 4.5% y 6.5%. Por otro lado, para las mezclas con asfaltos de penetración 60-70 modificada con adición de asfalto natural, se observa un aumento en la estabilidad Marshall frente a las mezclas con asfaltos 60-70 convencional.

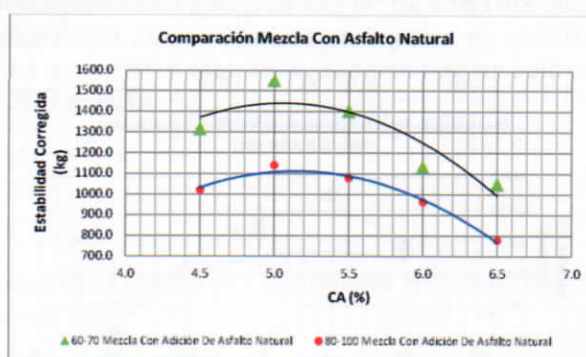
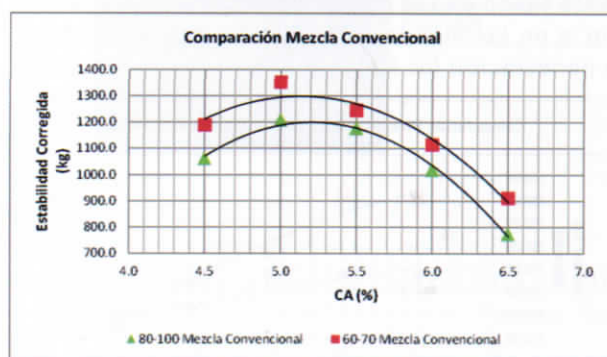


Figura 5. Comportamiento estabilidades
Fuente: Autores, 2012

Según la Figura 5, las mezclas convencionales presentan estabilidades mayores para los asfaltos de menor penetración (CA 60-70), situación que se conserva para mezclas modificadas con asfaltos naturales.

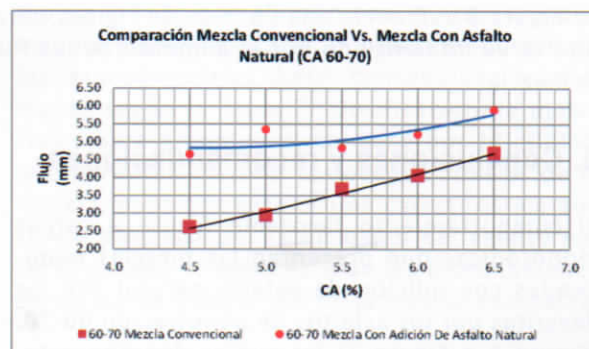
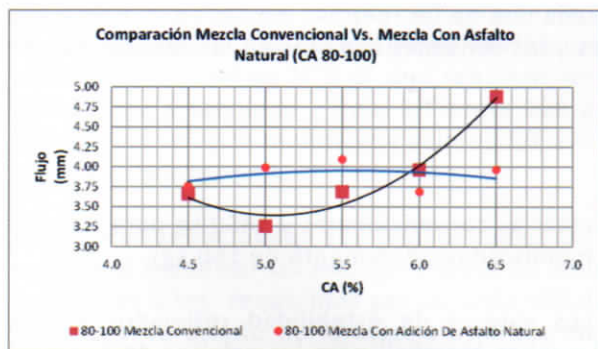


Figura 6. Comportamiento flujos
Fuente: Los Autores, 2012

El comportamiento de los flujos en las mezclas, se evidencia una conducta en la modificación de las mismas, es claro un aumento de las deformaciones con las cargas monotónicas, véase Figura 6. Cabe resaltar que el aumento del flujo con el incremento de asfalto para las mezclas modificadas, no es tan consistente (menor pendiente) como los flujos en las mezclas convencionales.

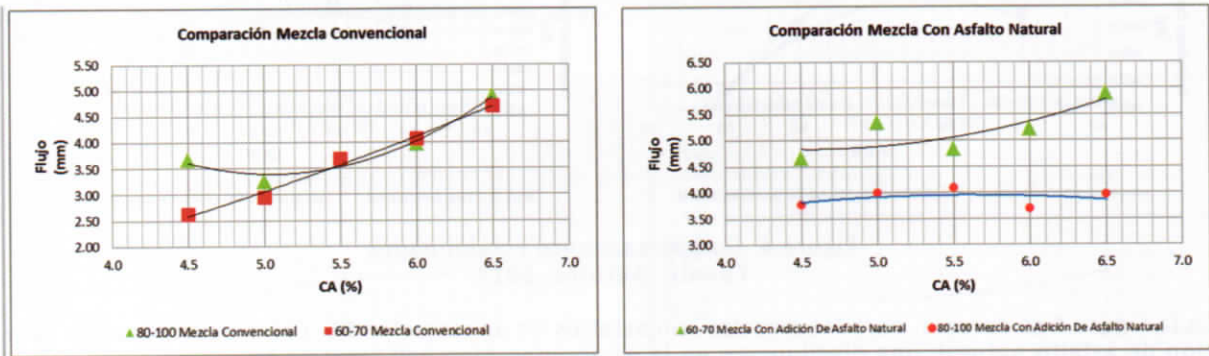


Figura 7. Comportamiento Flujos
Fuente: Autores, 2012

La Figura 7, presenta una comparación entre mezclas convencionales según el tipo de asfalto utilizado 80-100 ó 60-70 que describe un comportamiento típico en sus flujos, siendo esto mayor en los asfaltos de alta penetración (80-100). Esta tendencia en las mezclas modificadas con asfaltos naturales no se conserva, pues para asfaltos de baja penetración los flujos reportados son mayores.

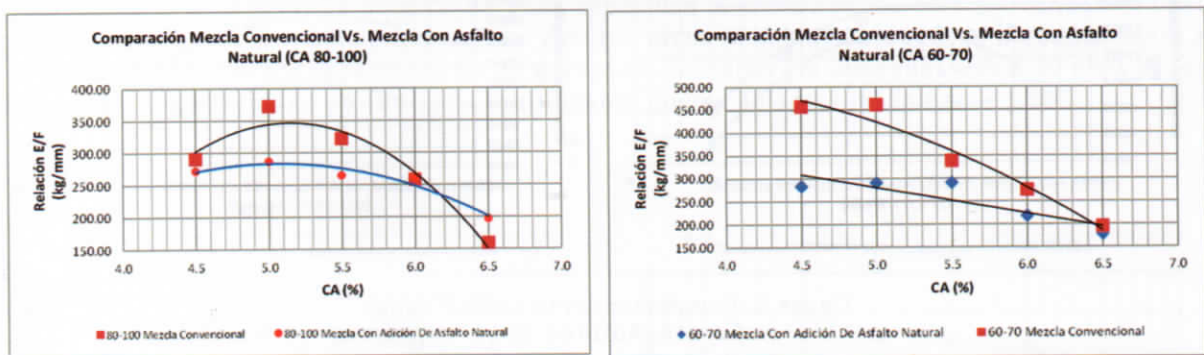


Figura 8. Comportamiento Rigidez – Relación E/F
Fuente: Autores, 2012

La Figura 8 evidencia una pérdida de rigidez para cada una de las mezclas modificadas, fenómeno que se ve influenciado por el aumento de los flujos y los sensibles cambios en las resistencias de la mezcla.

6. Conclusiones y recomendaciones

El comportamiento favorable frente a cargas monotónicas que presentan las mezclas modificadas con adición de asfalto natural son las descritas por los asfaltos de penetración 60-70, (Figura 4 a Figura 7) las cuales denotan estabilidades máximas, con un porcentaje de asfalto de 5.1%, de aproximadamente 1300 kg para

mezclas convencionales y 1450 kg para mezclas modificadas (incremento de 150 kg).

Los valores de estabilidad reflejados en las pruebas Marshall para los asfaltos de penetración 80-100, presentan una disminución en los resultados de las mezclas modificadas con adi-

ción de asfalto natural referente a las mezclas convencionales, reducción de 1200 kg a 1100 kg en sus condiciones máximas, las que se establecen para porcentajes de asfalto de 5.2%.

Valores que, aunque disminuyen, están dentro

de los exigidos para los diferentes niveles de tránsito NT1, NT2, NT3 de la Tabla 450.4 “Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall” presentados en la normatividad INVIAS 2007 para las mezclas densas en caliente.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS		
		CATEGORÍA DE TRÁNSITO		
		NT1	NT2	NT3
Compactación (golpes/cara)	E-748	50	75	75
Estabilidad mínima (kg)	E-748	500	750	900
Flujo (mm)	E-748	2 - 4	2 - 4	2 - 3.5
Relación Estabilidad / Flujo (kg/mm)	-	200 a 400	300 a 500	300 a 600

Tabla 6. Resumen requisitos para mezclas asfálticas, según categorías de tránsito NT1, NT2 Y NT3
Fuente: Autores, 2012



Aún cuando se evidencia una pérdida de rigidez para cada una de las mezclas modificadas, fenómeno que se ve influenciado por los aumentos de los flujos y los sensibles cambios en las resistencias de la mezcla, este parámetro puede presentar un adecuado comportamiento dentro de los exigidos por la normatividad INVIAS en los niveles de tráfico NT1 el que requiere relaciones de estabilidad y flujo E/F entre 200 a 400 kg/mm (mezcla modificada valores E/F entre 178 – 291 kg/mm).

Los valores de vacíos con aire (Va) los cuales aumentan al modificar las mezclas (Figura 3), son superiores a los requeridos por la Tabla 450.4 “Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall” presentados en la normatividad INVIAS 2007 para las mez-

clas densas en caliente, la cual maneja un máximo de 9% (NT2 5-9%) requeridos para una capa base.

Lo que no permitiría definir un porcentaje óptimo de asfalto cumpliendo con la normatividad vigente y que implicaría en una redefinición de las granulometrías base conseguidas inicialmente según la Tabla 2 “Dosificación de materiales para granulometrías base por briqueta”, que permitan mejorar los pesos unitarios de la mezcla, dada que esta es una característica que se vio afectada por la inclusión del asfalto natural cuando se evidenciaron las disminuciones de los pesos específicos de la mezcla compacta.

Como conclusión general, se tiene que el proceso a escala media, de producción de mezcla

asfáltica modificada por vía seca mediante inclusión de asfalto natural, puede funcionar en condiciones controladas de granulometría y caracterización adecuada del asfalto natural utilizado, en la que se defina un contenido de asfalto y la gravedad específica de la matriz de agregados que presente dicha composición.

Es necesario evaluar los aportes en resistencia que se consiguen con el ligante asfáltico proporcionado por el asfalto natural, aporte de incremento en los asfaltos 60-70 y de ligera disminución en los de alta penetración 80-100, frente a los incrementos que puedan representar los costos de acarreo y explotación del modificador natural.

La modificación de una mezcla asfáltica por vía seca, que implica una dosificación (mezcla en frío) de los agregados pétreos con el asfalto natural (para nuestro caso triturado) seguido de un proceso de secado y mezclado en el tambor mezclador de una planta de producción de asfalto (continuo o por bachada), requiere un manejo de temperaturas muy bien definidas.

Se recomienda realizar ensayos adicionales que permitan una mejor caracterización del asfalto natural y que defina contenido de asfalto, gravedad específica de la matriz de agregados que presente dicha composición, puntos de ablandamiento, temperaturas de ebullición, y cualquier otra que defina el comportamiento de la misma. Además, es necesario determinar granulometrías que ajusten los valores de pesos específicos y vacíos de las mezclas compactas (Va) ya modificadas con el asfalto natural.

Es preciso evaluar las mezclas modificadas y que fueron proyectadas como densas, en las que los porcentajes de vacíos (%Va) como resultado de la experiencia, fueron muy superiores a los requeridos para las mezclas MDC (oscilan entre 3% y 9%), evaluarlas como mezclas drenantes tipo MD1 con los ajustes pertinentes de granulometría, dado que se podrían generar adecuadas mezclas de mejor comportamiento mecánico con las características y funciones de las mezclas que permitan un drenaje adecuado

de las aguas de lluvias infiltradas en la estructura asfáltica.

La energía de compactación juega un valor importante en el proceso de fabricación de los especímenes de análisis (briquetas) y la obtención de los requisitos establecidos por la normatividad, por tanto, es pertinente evaluar diferentes energías de compactación a las propuestas para el desarrollo de esta investigación (75 golpes/cara).

Es preciso evaluar el desempeño de las mezclas modificadas con el asfalto natural, con parámetros que definan el comportamiento dinámico de estas, para evidenciar su respuesta en el tiempo frente a cargas dinámicas y verificar su comportamiento frente a agentes detonantes como el agua y la afinidad agregado - asfalto.

Bibliografía

ARENAS LOZANO, Hugo León. Tecnología del Cemento Asfáltico. Cali: Faid, 4 ed. 2005. p. 283.

IBEROAMERICANA DE NEGOCIOS E INVERSIONES S.A.S., Ficha Técnica Asfalto de Mina, Barcelona: 2010, 25 p. Disponible en Internet: [http://www.icmanaging.com/archivos/ASFALTO%20DE%20MINA%20FICHA%20\(INI\)%20Español.pdf](http://www.icmanaging.com/archivos/ASFALTO%20DE%20MINA%20FICHA%20(INI)%20Español.pdf)

MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos: Evaluación estructural, obras de mejoramiento, y nuevas tecnologías. 3 ed. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia, 2006. p. 91-92.

RONDÓN, H. A., REYES, F. A., Comportamiento de una mezcla densa en caliente elaborada con asfaltos modificados con asfaltita, Medellín: Revista Tecno Lógicas Vol. 22, 2009.

SAGANOME A. Pedro. Los asfaltos naturales colombianos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, Oficina de investigaciones y desarrollo tecnológico, 1999. p. 5.