

**Comportamiento monótonico de mezclas asfálticas MDC-2
adicionadas con desecho de caucho-cuero****Monotonic behavior of asphalt mixtures MDC-2
added with rubber-leather waste****Autor:**

Luis Ángel Moreno Anselmi*
Universidad Católica de Colombia- Bogotá Colombia

Fecha de presentación: Septiembre 30 de 2013
Fecha de aceptación: Noviembre 30 de 2013

Resumen

El objetivo de ésta investigación fue determinar el comportamiento monótonico de mezclas asfálticas MDC-2 con adición de grano de caucho-cuero en relación con las mezclas asfálticas fabricadas convencionalmente, teniendo en cuenta los parámetros de estabilidad y deformación. El estudio empezó con la determinación del porcentaje óptimo de asfalto para las mezclas convencionales (asfalto 60/70) y para las mezclas con adición de caucho-cuero al 1, 2, 3 y 4% de asfalto por vía húmeda; en seguida se ejecuta el ensayo Marshall obteniendo en la prensa resultados de estabilidad y flujo para cada una de las muestras. De los resultados obtenidos se deduce que el uso del desecho caucho-cuero mejora las propiedades mecánicas de la mezcla, viéndose reflejado en el aumento de la resistencia que presenta comparándolas con las mezclas asfálticas fabricadas convencionalmente.

Palabras Clave: Mezclas asfálticas, desecho caucho-cuero, Diseño Marshall, Estabilidad y Flujo.

Abstract

The goal of this research was to establish a monotonic behavior of MDC-2 asphalt mixtures with rubber-leather added regarding typically manufactured asphalt mixtures taking into account the of maximum load and twist parameters. We began the study by specifying the optimum asphalt percent for typical mixtures (bitumen 60/70) and mixtures with rubber-leather added of 1, 2, 3 and 4 percent of moist asphalt, then the Marshall test is run by getting flow stability results at press for each sample. From results we could infer that rubber-leather waste entirely improves the mixture mechanical properties, reflecting an increase of the resistance of asphalt mixtures compared to typical manufactured ones.

Artículo de Investigación.

* Ingeniero civil, magister. lamoreno@ucatolica.edu.co



Keywords: asphalt mixtures, rubber-leather waste, Marshall test, stability and flow.

Introducción

Los sistemas viales a nivel mundial forman una parte importante del desarrollo tanto económico, como político y social de cada uno de los países, debido al beneficio que entregan a la sociedad con la comunicación entre ciudades, velocidad de traslado de un lugar a otro, entre otros; lo que genera una necesidad importante para las diferentes academias, investigadores e industrias una construcción y mantenimiento óptimo a largo plazo para todas las vías existentes (Soon-Jae, L., Chandra A., Serji, A. 2007).

Actualmente la mayor parte de las vías se construyen con pavimentos flexibles a causa de las ventajas que presentan en cuanto a su bajo costo, su práctico proceso de fabricación y su facilidad de extensión y compactación en obra; así mismo, presenta algunas desventajas promovidas por la flexibilidad que posee la estructura (realizada con mezclas asfálticas) de recuperarse frente a las diferentes cargas generadas por el tránsito, como lo son ahuellamiento y fatiga. (Joskowwics, P., Villegas, C., Arias, L., Escobar, J., Landa, F., Corredor, G. y Noriega, J. 2010).

Debido a la necesidad de mejorar paulatinamente las desventajas que presentan las mezclas asfálticas y entrar en un desarrollo sostenible que exige la globalización en el mundo, diferentes investigadores se han puesto en la tarea de modificar las mezclas asfálticas, siendo una técnica utilizada desde los años 60 aproximadamente según la guía práctica de los asfaltos modificados con caucho (George, W., Kamil, K., y Krishna, B. 2011) pero en los últimos 30 años es donde se han concentrado los estudios en las diferentes modificaciones, con el

fin de obtener un aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías (Botasso, G., Rebollo, O., Cuattrocchio, A., y Soengas, C. 2008). Ésta técnica de modificación de mezclas asfálticas consiste en adicionar diferentes tipos de polímeros a las mezclas convencionales usadas en el país con el fin de conocer el comportamiento de las características mecánicas y dinámicas (resistencia a deformaciones por factores climatológicos y de tránsito, deformaciones permanentes, rigidez, fisuramiento por efecto térmico y fatiga), (Rodríguez, K. 2005), teniendo en cuenta que las modificaciones se han realizado debido a la necesidad del profesional de mejorar las desventajas presentadas por el asfalto puro (resistencia a fluencia baja).

Para nuestro caso de estudio el asfalto utilizado para la mezcla es modificado con grano de caucho-cuero por vía húmeda, sin embargo, las referencias bibliográficas mencionadas a lo largo del documento corresponden al caucho en sí dado que no se encontraron artículos que mencionaran el aditivo usado en la investigación por ser un material novedoso en el uso de mezclas asfálticas.

El caucho es un recurso no renovable desechado constantemente en rellenos sanitarios, lo que genera una alta contaminación al medio ambiente, por lo cual al darle una utilidad en la modificación de mezclas asfálticas, favorece a la disminución en la emisión de gases del efecto invernadero, bajos costos, la naturaleza inherente de cohesión del caucho, sin desmeritar el uso efectuado por el parque automotor en Bogotá D.C, al usar un volumen grande de llantas en aprovechamiento energético es por esto que el Instituto de Desarrollo Urbano implemento a partir del 2012 la pavimentación con este tipo de productos y esto reposa en las resoluciones 2393 y 6891 de 2011 en



Revista Academia y Virtualidad

donde los procesos licitatorios se debe evidenciar el uso de este tipo de material.

El empleo de caucho en mezclas asfálticas mejora la resistencia a la deformación, fisuramiento asociado a las cargas de tránsito (fatiga), cambios térmicos, mejora de la adhesividad de los agregados y resistencia al envejecimiento (Montejo, A. 2001). Así mismo cabe señalar que el caucho incide positivamente en la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas, visualizándolo en la disminución de grietas (Figueroa, S., Sánchez, A., y Reyes F. 2007).

A nivel Internacional diferentes academias han desarrollado investigaciones que abarcan la modificación de mezclas asfálticas con caucho; como muestra de esto, en 2009 en China, con el fin de resolver algunos de los factores importantes que afectan el rendimiento del asfalto modificado con caucho y evaluar su comportamiento, los investigadores a cargo abarcaron un tipo de asfalto característico del país (AT), cuatro tipos de polvo de neumático (capa superficial de los neumáticos, caucho de camiones pesados, caucho de camiones pequeños y caucho de los neumáticos usados en la agricultura), y dos tipos de tamaño de las partículas de caucho (malla 60 y 80); realizando ensayos característicos del asfalto como lo son, penetración, punto de ablandamiento y ductilidad, llegaron a concluir que cuanto mayor es el contenido de caucho, mayor es el punto de ablandamiento y el índice de penetración, mientras que a bajas temperaturas la ductilidad disminuye. De igual manera lograron deducir que el contenido de caucho que es adicionado al asfalto es el parámetro que más afecta el rendimiento de éste, y en orden de importancia sigue el tipo de caucho a usar y por último el tamaño de los granos de caucho (Lu, S., Cao, W., Fang, J., y Shang, S. 2009).

De igual manera, en Florida, Estados Unidos, se realizó un estudio en el año 2000, que consistía en conocer las propiedades reológicas de asfalto modificado con caucho al 5, 7.5 y 10 por ciento, por medio de la realización de experimentos sobre las propiedades de flujo, corte y rotura; dando a conocer como resultados que la viscosidad, las funciones lineales visco elásticas, la elasticidad y la resistencia del asfalto aumentó a medida que se fue adicionando caucho. El comportamiento elástico del asfalto modificado con 10% de caucho fue aproximadamente dos veces mayor que el del asfalto modificado con 7,5% de caucho, pero solo hay una diferencia mínima en la elasticidad del asfalto modificado con 5% y 7,5% de caucho; lo cual indica que va a mejorar las propiedades a bajas temperaturas de asfalto, logrando así disminuir en gran medida que las mezclas asfálticas dispuestas en las vías, se agrieten en climas fríos y al contrario aumente el ciclo de vida de la carretera (Zaman, A., Fricke, L., y Beatty, C. 2000).

Otro estudio realizado en Luisiana, presenta un comparativo del comportamiento de mezclas asfálticas modificadas en el laboratorio y en el campo, realizando varias modificaciones de asfalto con miga de caucho en caliente. Ocho secciones de pavimento de asfalto modificado con caucho, se construye con ocho diferente procesos o aplicaciones. Estas secciones de mezclas asfálticas modificadas con caucho fueron construídas en la carretera del estado en cinco proyectos. Una sección de control con la mezcla de asfalto convencional se construyó en cada proyecto para comparar el rendimiento de las secciones de pavimento construido con asfalto modificado con caucho.

Para evaluar las características de la mezcla asfáltica modificada con caucho y mezclas convencionales de laboratorio, la cual se llevó a cabo en la presente



Revista Academia y Virtualidad

investigación, fue necesario realizar pruebas de la estabilidad Marshall y el flujo, resistencia a la tracción indirecta, tensión y módulo resiliente, realizando cada una de estas pruebas sobre muestras compactadas de campo Marshall. Por medio del estudio realizado llegaron a concluir que las mezclas convencionales mostraron una mayor resistencia que las modificadas con caucho en el laboratorio. Las secciones de pavimento construidas con mezclas asfálticas modificadas con caucho mostraron mejores índices de rendimiento (ahuellamiento, grietas profundas y fatiga) que en las secciones de control con mezclas convencionales correspondientes después de las cinco a siete años de tráfico (Huang, B., Mohammad, L., Graves, P. y Abadie, C. 2008).

Como último ejemplar de investigación en el tema, los investigadores Jeong, Amirkhanian y Kim, experimentaron la interacción y los efectos de mezclas asfálticas modificadas con caucho, utilizando siete tipos de mezcla (5, 30, 60, 90, 120, 240, y MIN 480), tres temperaturas de mezcla (177, 200, y 223 ° C), y cuatro contenidos de caucho (5%, 10%, 15%, y 20% en peso de ligante asfáltico), realizando ensayos de viscosidad, reología y distribución de tamaños moleculares; en donde los resultados de este estudio mostraron que la interacción de tiempo y temperatura para mezclas asfálticas modificadas con caucho tienen un efecto significativo sobre las propiedades adhesivas, al analizar la mezcla modificada con el pasar del tiempo y teniendo una temperatura, resultó en un incremento alto en la temperatura y la viscosidad, sucedido probablemente por el aumento en la masa de caucho a través de la absorción del asfalto. Sin embargo, este estudio encontró que el asfalto convencional (PG 64-22) tuvo poco cambio en las propiedades mecánicas y dinámicas sobre la carpeta de rodadura, mientras que la influencia que presenta el porcentaje de mezclas asfálticas modificadas con caucho,

es estadísticamente significativa por su viscosidad y por mostrar un mayor tamaño molecular (Jeong, K., Lee, S., Amirkhanian, S., y Kin, K. 2010).

Es totalmente viable el estudio de mezclas asfálticas modificadas, ya que se ha visto a nivel internacional el auge que ha mantenido durante muchos años su investigación (laboratorios) y su aplicación (campo); por tal motivo se hace necesario integrarse a nuevas tecnologías que brinden a las academias e industrias una serie de soluciones óptimas en cuanto a nuevos métodos de diseño, fabricación, mezclado, extensión y compactación de mezclas asfálticas y teniendo en cuenta la necesidad inminente de entrar en las políticas ambientales definidas por el protocolo de Kyoto, en donde se acudirá a nuevos procesos que garanticen vías con calidad en seguridad, diseño, construcción y medioambientalmente óptimas (Xiao, F., y Amirkhanian, S. 2008).

Según lo anteriormente dicho, esta investigación tiene como intención realizar un análisis comparativo entre mezclas asfálticas convencionales (asfalto 60/70) y mezclas asfálticas fabricadas con asfalto modificado con desecho de caucho-cuero (asfalto modificado al 1, 2, 3 y 4% con caucho-cuero, evaluando propiedades de estabilidad y flujo ser sometidas a cargas monotónicas propuestas y ejecutadas en el ensayo Marshall.

Metodología

En la figura 1 se muestra el diagrama metodológico que expone el procedimiento seguido en el desarrollo de la investigación; la primera parte corresponde a la caracterización del asfalto utilizado 60/70 proveniente de Ecopetrol (Barrancabermeja), y del material granular extraído del Río Coello para proceder a hallar el porcentaje óptimo de asfalto; acto seguido se toma el asfalto



convencional y se adicionan porcentajes de 1, 2, 3 y 4% de grano de caucho-cuero para ser mezclados con material granular de la misma procedencia que el convencional, el asfalto se modificó de manera manual a una temperatura de 140°C durante periodos de 45 a 60 min dependiendo de la cantidad de agente modificador y las mezclas asfálticas se elaboraron a una temperatura entre 140°C y 150°C hasta un periodo de 30 a 45 min el cálculo de los porcentajes óptimos siguieron la misma metodología Marshall y de esta manera realizar la comparación de las mezclas fabricadas mediante los parámetros de estabilidad y flujo.

medio como parámetro de investigación, como se muestra en la figura 2.



Figura 1. Metodología de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

1. Granulometría.

Para llevar a cabo esta investigación se utilizó la mezcla densa en caliente tipo 2 (MDC-2) especificada por la normativa del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) como se muestra en la tabla 1, tomando el huso granulométrico

Granulometría óptima para la MDC-2					
Tamiz	Tamiz (mm)	Peso Retenido	% Retenido		% Pasa
			Parcial	Acumulado	
1 "	25	0	0	0	100
3/4 "	19	0	0	0	100
1/2 "	12	150	12,5	12,5	87,5
3/8 "	9,05	102	8,5	21	79
# 4	4,76	264	22	43	57
# 10	2	240	20	63	37
# 40	0,425	210	17,5	80,5	19,5
# 80	0,18	84	7	87,5	12,5
# 200	0,075	78	6,5	94	6
Fondo		72	6	100	0

Tabla 1. Granulometría para la MDC-2 Fuente: Elaboración propia.

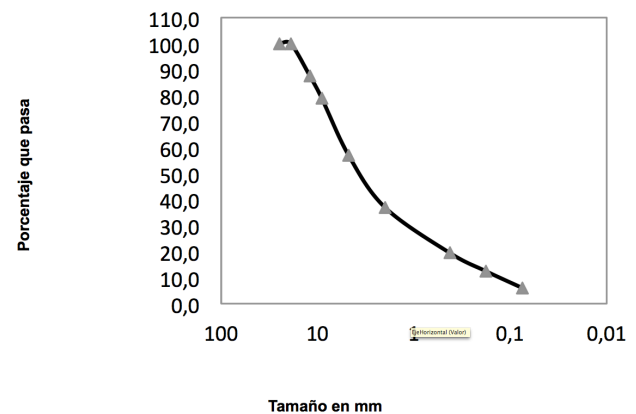


Figura 2. Curva granulométrica media para la MDC-2. Fuente: Elaboración propia.

1.1 Material granular, Asfalto y desecho de caucho cuero

El material granular usado es proveniente del Río Coello, para su debida caracterización se obtuvieron resultados de peso específico suelto y apisonado para finos y gruesos, densidad y absorción de agregado grueso, densidad y

absorción de agregado fino y abrasión en la máquina de los ángeles como se muestra en la tabla 2.

ENSAYO	NORMA	RESULTADO
Peso Unitario Suelto para finos.	INV-E 217	1,473 (g/cm ³)
Peso Unitario Apisonado para finos.	INV-E 217	1,547 (g/cm ³)
Peso Unitario Suelto para agregado grueso 3/4".	INV-E 217	1,45 (g/cm ³)
Peso Unitario Apisonado para agregado grueso 3/4".	INV-E 217	1,567(g/cm ³)
Peso específico aparente seco agregado grueso.	INV-E 223	2,65 (g/cm ³)
Absorción agregado grueso.	INV-E 223	1,01%
Peso específico aparente seco agregado fino.	INV-E 222	2,58 (g/cm ³)
Absorción agregado fino.	INV-E 222	2,04%
Abrasión en la máquina de los Ángeles.	INV-E 218 y 219	21,76%

Tabla 2. Caracterización del material granular.

Fuente: Elaboración propia.

Para la fabricación de las mezclas asfálticas se utilizó un asfalto convencional con penetración 60/70, proveniente de Ecopetrol (Barrancabermeja) y suministrado por la entidad, obteniendo las características que se muestran en la tabla 3.

ASFALTO 60/70	
Peso Específico	1,016
Penetración (0.1 mm)	61-60
Punto de Ablandamiento	43,5 ° C

Tabla 3. Caracterización del Asfalto 60/70.

Fuente: Elaboración propia.

El desecho de caucho cuero en un producto que pasa el tamiz N° 40 y se retiene en el tamiz N° 80 tal como se muestra en la fotografía 1, este es un material difícil de caracterizar debido a que los elementos que lo componen son muy variados proviene de remontadoras de calzado las cuales utilizan piedra para pulir y preparan la superficie de los calzados y las suelas en su restauración. Algunos polímeros utilizados en la elaboración de suelas de calzado son cauchos- vulcanizados, PVC, EVA, SBS, cauchos expandidos y cueros sintéticos o naturales.



Fotografía 1. Material de desecho caucho – cuero.

Fuente: Tomada por los autores.



1.2 Determinación porcentaje óptimo de asfalto

Se fabricaron mezclas asfálticas convencionales según la metodología Marshall (INV-E-748) a una temperatura de compactación de 135° a 140°, 75 golpes por capa; utilizando la granulometría de una mezcla densa en caliente tipo 2 (MDC-2) y con asfalto 60/70 para porcentajes de 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5 por ciento, elaborando 5 muestras para cada porcentaje de éste, determinando que el porcentaje óptimo para la mezcla convencional es del 5,0%.

Con respecto a las mezclas asfálticas modificadas, se adicionó desecho de caucho-cuero proveniente de calzado al 1, 2, 3 y 4% al asfalto 60/70, utilizando la misma granulometría de las convencionales (MDC-2) y fabricándolas cada una con porcentajes de 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5 teniendo como base 5 muestras por porcentaje; obteniendo como resultado para las mezclas adicionadas al 1% un porcentaje óptimo de 6.0%, para las mezclas adicionadas al 2% un porcentaje óptimo de 6.25%, para las mezclas adicionadas al 3% un porcentaje óptimo de 5.75% y para las mezclas adicionadas al 4% un porcentaje óptimo de 6.5%.

2. Elaboración de briquetas

Para elaborar las briquetas necesarias para el desarrollo de la investigación como se indica anteriormente se siguió la metodología Marshall, teniendo en cuenta un diámetro de 101.6 mm y una altura de 63.5 mm para la fabricación de las briquetas, una vez realizadas, se procede a determinar el peso seco, superficialmente seco y sumergido de cada una de las muestras; en seguida se someten al baño de María por 25 minutos aproximadamente para realizar el ensayo en la prensa Marshall y obtener lecturas del estabilidad y flujo. Una vez obtenidas las lecturas del

laboratorio se estructura una tabla resumen con el cálculo de pesos unitarios, vacíos de la mezcla, vacíos de los agregados, vacíos llenos de asfalto y el peso específico teórico para llegar a conocer los resultados de estabilidad y flujo, ejecutando éste procedimiento para las muestras convencionales como se muestra en la tabla 4 y las que fueron modificadas con desecho de caucho-cuero para los diferentes porcentajes ya mencionados como se muestra en la figura 5, 6 7 y 8.

MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2		
CONVENCIONAL		
RESULTADOS LABORATORIO		
% Asfalto	Estabilidad Marshall (Kg)	Fluencia (mm)
4,5	1278	2,90
5,0	1399	3,05
5,5	1342	3,86
6,0	1000	3,81
6,5	849	4,57

Tabla 4. Tabla resumen con resultados de Estabilidad y Flujo de asfalto convencional

Fuente: Elaboración propia.

MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2		
ADICIÓN 1%		
RESULTADOS LABORATORIO		
% Asfalto	Estabilidad Marshall (Kg)	Fluencia (mm)
4,5	1366	2,5273
5,0	1097	3,07975
5,5	903	4,445
6,0	1014	4,7625
6,5	809	5,0165

Tabla 5. Tabla resumen con resultados de todos los porcentajes de asfalto con adición al 1%.

Fuente: Elaboración propia.

MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2		
ADICIÓN 3%		
RESULTADOS LABORATORIO		
% Asfalto	Estabilidad Marshall (Kg)	Fluencia (mm)
4,5	1106	3,112
5,0	978	3,048
5,5	1014	4,540
6,0	984	4,858
6,5	1125	5,144

Tabla 7. Tabla resumen con resultados de todos los porcentajes de asfalto con adición al 3%.

Fuente: Elaboración propia.

MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2		
ADICIÓN 2%		
RESULTADOS LABORATORIO		
% Asfalto	Estabilidad Marshall (Kg)	Fluencia (mm)
4,5	1484	2,540
5,0	1028	3,366
5,5	963	4,477
6,0	1079	4,667
6,5	983	4,350

Tabla 6. Tabla resumen con resultados de todos los porcentajes de asfalto con adición al 2%.

Fuente: Elaboración propia.

MEZCLA ASFÁLTICA MDC-2		
ADICIÓN 4%		
RESULTADOS LABORATORIO		
% Asfalto	Estabilidad Marshall (Kg)	Fluencia (mm)
4,5	1022	3,78
5,0	879	3,40
5,5	1089	4,45
6,0	1147	4,79
6,5	873	5,27

Tabla 8. Tabla resumen con resultados de todos los porcentajes de asfalto con adición al 4%.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Con respecto al parámetro de estabilidad extraído de las tablas que muestran el porcentaje de asfalto con la carga máxima resistida por la probeta; cabe mencionar que la carga máxima para la mezcla asfáltica convencional fue de 1399 Kg, mientras que la carga máxima para las muestras adicionadas al 1% de caucho-cuero fue de 1366 Kg, las muestras adicionadas al 2% tuvieron una carga máxima de 1484 Kg, las muestras con adición del 3% de caucho-cuero tuvieron una carga máxima de 1125 Kg y las que se adicionaron con el 4% de caucho-cuero soportaron una carga máxima de 1147 kg; lo cual indica un mejor comportamiento para la MDC-2 con porcentaje de caucho-cuero del 2%, como se muestra en la Figura 3.

En los resultados se puede observar que presenta mayor rigidez cuando se le adiciona un 2% de desecho aunque el contenido de asfalto de la mezcla aumentó esto puede ser debido a que las partículas de cuero pueden estar absorbiendo parte del asfalto y generando una especie de mastico, más rígido ya en porcentajes mayores de asfalto y modificado, los resultados son inferiores a los convencionales mostrando de esta manera que no hay una adherencia del asfalto modificado con el material granular.

El parámetro de deformación en las muestras fue medido en la prensa Marshall, en donde se evidenció que la mezcla asfáltica convencional tuvo una deformación mínima de 2.90 mm, tal como se muestra en la Figura 4, mientras que las muestras fabricadas con adición de caucho-cuero al 1, 2, 3 y 4% tuvieron deformaciones mínimas de 2.52, 2.54, 3.04 y 3.40 respectivamente, lo que indica que las probetas que tuvieron menor deformación fueron las adicionadas al 1%. Adicionalmente estos valores se encuentran entre los rangos de 2 y 3,5 mm según las

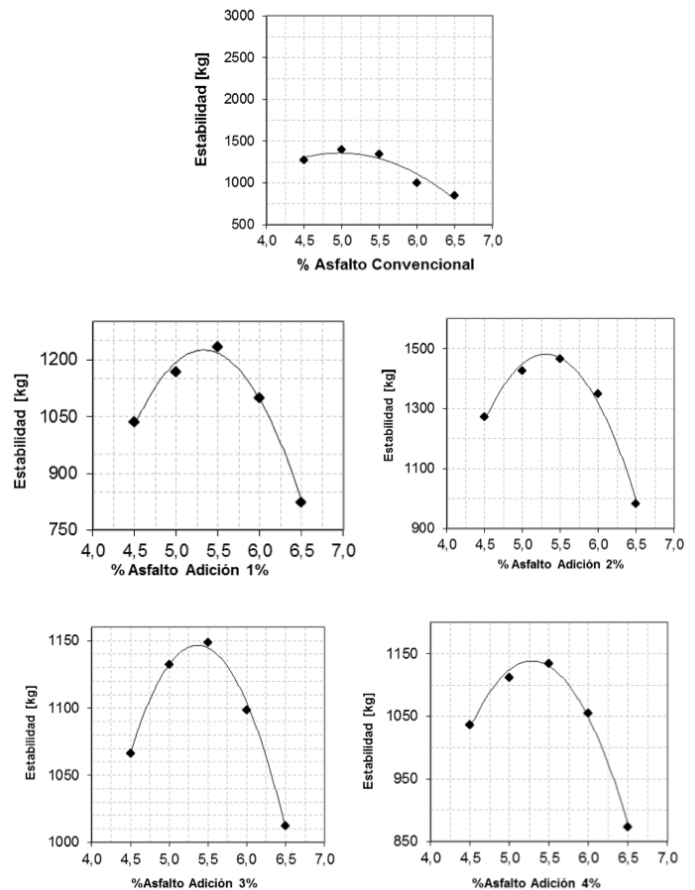


Figura 3. Gráficas de Estabilidad vs porcentaje de asfalto para mezcla convencional y mezclas aditivadas al 1,2, 3 y 4% de caucho-cuero
Fuente: Elaboración propia.

normas INVIAS. Los resultados evidencian que no existe una muy buena adherencia a medida que se adiciona más aditivo ya que este absorbe el cemento asfáltico.

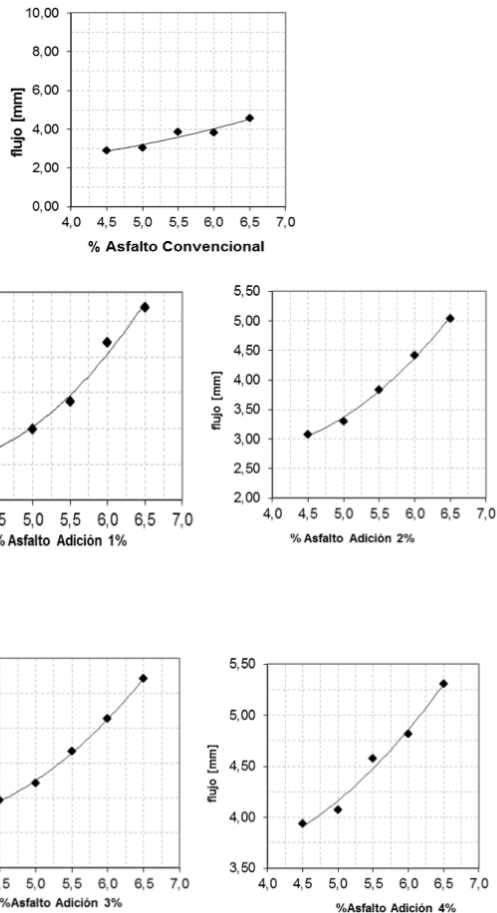


Figura 4. Gráficas de flujo vs porcentaje de asfalto para mezcla convencional y mezclas aditivadas al 1,2, 3 y 4% de caucho-cuero.

Fuente: **Elaboración propia.**

Conclusiones

Realizado el análisis Marshall a muestras MDC-2 modificadas con desecho de caucho cuero por vía húmeda en porcentajes de 1%, 2%, 3% y 4% mostraron los siguientes resultados.

Las muestras MDC-2 fabricadas con caucho-cuero al 2% presentó mejor comportamiento que las fabricadas convencionalmente, con adición al 1, 3 y 4% con respecto a la Estabilidad.

La deformación mínima sobre las muestras la presentaron las probetas adicionadas al 1%.

El uso de caucho-cuero como aditivo en mezclas asfálticas aporta a la disminución de desechos en grandes cantidades en los rellenos sanitarios.

Se deben realizar ensayos que analicen el comportamiento dinámico de las mezclas asfálticas para tener mayor precisión en los resultados, tales como resistencia a fatiga, ahuellamiento y módulo resiliente.

Es necesario realizar un estudio similar con muestras fabricadas con el compactador giratorio para efectuar la comparación con las muestras fabricadas bajo el diseño Marshall.

Referencias

Soon-Jae, Lee; Chandra K, Akisetty; Serji, Amir Khanian. (2007) "The effect of crumb rubber modifier (CRM) on the performance properties of rubberized binders in HMA pavements"; Department of Civil Engineering; Clenson University; United States.

Joskowicz, Pablo; Villegas, Carlos; Arias, Lourdes; Escobar, José; Landa, Franklin; Corredor, Gustavo; Noriega, Johannes. (2010) "Ligantes asfálticos Venezolanos modificados con polvo de neumáticos fuera de uso"; Universidad Central de Venezuela; Venezuela.

George B. Way P.E.; Kamil E. Kaloush; Krishna Prapoorna Biligiri. (2011) Asphalt-Rubber Standard Practice Guide Prepared for the Rubber Pavements Association Final Report, Arizona State University Estados Unidos, October 17.



Revista Academia y Virtualidad

Botasso, Gerardo; Rebollo, Oscar; Cuattrocchio, Adrián; Soengas, Cecilia. (2008) “Ejecución de pavimento con mezcla asfáltica densa con utilización de caucho reciclado”; LEMaC Centro de Investigaciones Viales; Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata; Argentina.

Rodríguez, Karina. (2005) “Mejora de una mezcla asfáltica drenante con adición de caucho e icopor”; programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería; Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Montejo, Alfonso. (2001) Ingeniería de pavimentos para carreteras, Segunda edición; Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C.

Figuroa, Sofía; Sánchez Arnulfo; Reyes Fredy. (2007) “Caracterización física de un asfalto modificado con poliestireno y llanta triturada”, Revista 009 Épsilon, Jul-Dic. P. 41-55 Universidad de la Salle, Bogotá.

Liu, Shutang; Cao, weidong; Fang, Jianguo; Shang, Shujie. (2009) “Variance analysis and performance evaluation of different crumb rubber modified (CRM)

asphalt”, Construction and building materials; Shandong University; China.

Zaman, A; Fricke, L; Beatty, C. (2000) “Rheological properties of Rubber-modified Asphalt”; Journal of transportation engineering, Florida Department of transportation, Florida, Estados Unidos.

Huang, Baoshan; Mohammad, Louay; Graves, Philip; Abadie, Chris. (2008) “Louisiana Experience with Crumb-Rubber Modified Hot-Mix Asphalt Pavement”; Louisiana Department of transportation and Development; Louisiana, Estados Unidos.

Jeong, Kyu-Dong; Lee, Soon-Jae; Amirkhanian, Serji N.; Kim, Kwang. (2010) “Interaction effects of crumb rubber modified asphalt binders”; Construction and Building materials.

Xiao, Feipeng; Amirkhanian, Serjin. (2008) “Laboratory Investigation of Moisture Damage in Rubberized Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement”; Department of Civil Engineering; Clemson University, South Carolina, Estados Unidos.