

# ***Influencia de la granulometría sobre la resistencia mecánica de una mezcla asfáltica modificada con desecho de policloruro de vinilo (PVC)***

Hugo Alexander Rondón Quintana<sup>1</sup>, Maritza Liliana Guzmán Millán<sup>2</sup>

R: 03092010 - A: 19102010

## **Resumen**

El presente trabajo evaluó en laboratorio el cambio en las propiedades mecánicas bajo carga monotónica que experimenta una mezcla asfáltica densa en caliente cuando se adiciona por vía húmeda al cemento asfáltico un desecho de policloruro de vinilo (PVC) y se cambia la granulometría del agregado pétreo. La propiedad evaluada fue la resistencia en tracción indirecta a través del ensayo Marshall. Dos tipos de cemento asfáltico (CA) fueron modificados: CA 80-100 proveniente de la refinería de Barrancabermeja (Colombia) y CA 60-70 proveniente de Apiay (Colombia). De los resultados obtenidos se concluye que la resistencia mecánica bajo carga monotónica de mezclas asfálticas tipo MDC-2 modificadas con desecho de PVC es mayor en comparación con las convencionales (mezclas que emplean asfaltos sin ningún aditivo) cuando se utiliza la granulometría recomendada por las especificaciones colombianas para la fabricación de las mismas (denominada franja central). Sin embargo cuando se fabrican mezclas modificadas con otra distribución de tamaños de partículas el comportamiento de los parámetros del ensayo Marshall depende del tipo de ligante utilizado.

## **Palabras clave:**

*Asfalto modificado  
Desecho de PVC  
Granulometría  
Mezcla densa en caliente*

<sup>1</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Carrera 7a. No. 43-73. Contacto: [harondonq@udistrital.edu.co](mailto:harondonq@udistrital.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad Piloto de Colombia. Bogotá, Carrera 9 No. 45 A 44.

## *The MDC2 mixes modified with PVC compared with mixtures with asphalts without additives*

### **Abstract**

Laboratory tests were used to evaluate the effect on the mechanical properties of a hot asphalt mix due to the addition by wet way of a waste of PVC and changing of size distribution curve of granular material. The strength under monotonic load was evaluated using Marshall Test. Two asphalt cements (AC) were used, AC 80-100 from the Barrancabermeja refinery (Colombia) and AC 60-70 from Apiay (Colombia). The results show that the mechanical properties evaluated were higher for the MDC2 mixes modified with PVC compared with mixtures with asphalts without additives. However, when the modified mixes use another size distribution curve, the behavior of parameters in the Marshall tests depends of the AC used.

### **Keywords:**

*Hot asphalt dense mixture*  
*Modified asphalt*  
*Size distribution curve*  
*Waste of PVC*

## Introducción

La tecnología de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas ha sido una técnica ampliamente estudiada y utilizada en el mundo. Con la adición de polímeros al asfalto se modifican las propiedades mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. Cuando se utiliza esta tecnología se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio ambiente. Por lo general las propiedades que se intentan mejorar son la rigidez, la resistencia bajo carga monotónica, ahuellamiento, fatiga, envejecimiento, y disminuir la susceptibilidad térmica.

La mayor parte de las investigaciones realizadas en el área de los asfaltos modificados utilizan como agentes modificadores polímeros del tipo elastómero (Maquillen; 1988, Stastna, Zanzotto y Vacin; 2000, Chen, Liao y Shiah; 2002, Lee et al., 2008; Olivares et al., 2009; estados del conocimiento sobre el tema pueden ser consultados en Papagiannakis & Loughheed, 1995; Copeland, 2007; Yildirim, 2007 y para el caso colombiano en Rondón y otros., 2008). Este tipo de aditivos al ser agregados al asfalto mejoran el comportamiento resiliente (recuperación elástica) de las mezclas cuando son solicitadas a ciclos de carga y descarga especialmente a altas temperaturas de servicio.

En este estudio se propone modificar el cemento asfáltico con un polímero del tipo plastomérico, utilizando un desecho de policloruro de vinilo obtenido durante el proceso de fabricación del mismo. Este aditivo se escogió debido principalmente a que este tipo de polímero (plastomeros) genera por lo general un incremento en la resistencia mecánica de las mezclas a altas temperaturas debido a que el asfalto se rigidiza. Así mismo, este desecho actualmente es producido en cantidades aproximadas de 5 toneladas mensuales generando un impacto negativo al ambiente y no es fácil obtener un proceso productivo en el cual pueda ser reutilizado. Además, el conocimiento que se tiene en Colombia sobre modificación de asfaltos con este desecho y tipo de polímero es escaso (Rondón y otros; , 2008).

Estudios anteriores (Rondón y otros; 2004, Rondón y otros; 2007, Rondón y otros; 2008a) en los cuales se han modificado cementos asfálticos con desecho de PVC, han demostrado que al agregar este aditivo a las mezclas la rigidez de las mismas aumenta. En estos estudios las muestras se han fabricado utilizando como granulometría del agregado pétreo, la franja central que recomiendan las especificaciones del Instituto Nacional de Vías - INVIAS (2007). En campo sin embargo, la granulometría de las mezclas puede variar en una franja que INVIAS (2007)

denomina como límites inferior y superior.

En el presente artículo se muestran los resultados experimentales de ensayar mezcla asfálticas (del tipo MDC-2 utilizada como capas rodadura asfáltica de acuerdo al Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2007) modificadas con un desecho de policloruro de vinilo (PVC). Con el fin de evaluar la influencia de la distribución de tamaños de partículas del agregado pétreo sobre la resistencia mecánica bajo carga monotónica de las muestras modificadas, éstas fueron fabricadas utilizando los límites inferior, central y superior de la granulometría que recomiendan las especificaciones INVIAS (2007). El desecho de PVC proviene de Mexichem Resina S.A. (Colombia) y Para la elaboración de las mezclas y la evaluación de las mismas, fueron modificados los dos tipos de cementos asfálticos (CA) fabricados en Colombia: CA 80-100 proveniente de la refinería de Barrancabermeja y CA 60-70 proveniente de Apiay. El desecho de PVC se adicionó al CA por vía húmeda a una temperatura adecuada y controlando el tiempo de mezcla para garantizar su homogeneidad. Para la evaluación de la resistencia mecánica bajo carga monotónica de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas se empleó el ensayo Marshall.

## Materiales y metodología

El agregado pétreo empleado para la elaboración de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas con desecho de PVC es procedente de la cantera “Subachoque” (Cundinamarca). A estos materiales se le realizaron los siguientes ensayos, siguiendo las especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2007a): análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (INV. E-213), peso específico y absorción de agregados finos (INV. E-222), peso específico y absorción de agregados gruesos (INV. E-223), resistencia al desgaste de los agregados (tamaños menores de  $\frac{3}{4}$ ”) por medio de la máquina de Los Ángeles (INV. E-218), desgaste Micro-Deval (INV. E-238), pérdida en ensayo de solidez (INV. E-220), partículas fracturadas (INV. E-227), ensayo para medir el equivalente de arena (INV. E-133), índice de alargamiento aplanamiento (INV. E-230). Los resultados de estos ensayos se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Caracterización del agregado pétreo.

ENSAYO	VALORES
Peso específico	2.56
Equivalente de arena	86%
Caras fracturadas	92%
Índice de alargamiento	10%
Índice de aplanamiento	10%
Ataque en Sulfato de sodio	12,4%
Microdeval (sin saturar)	20,3%
Resistencia al desgaste máquina de los Ángeles	22,5%

Se observa en esta tabla 1 que los valores de cada uno de los ensayos cumplen con el requisito mínimo de calidad exigido por las especificaciones INVIAS (2007) para fabricar mezclas tipo MDC-2 y por lo tanto el material puede ser empleado para la elaboración de las briquetas del

presente estudio. Los CA empleados en el proyecto provienen de las refinerías de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) en Barrancabermeja y Apiay. Las características de los CA se presentan en las Tablas 2 y 3.

**Tabla 2.** Características generales del cemento asfáltico CA 80-100 proveniente de Barrancabermeja.

Ensayo	Método	Unidad	CA 80-100	Resultado
<b>Ensayos sobre el asfalto original</b>				
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	ASTM D-5	0.1 mm	80-100	85
Índice de penetración	INV. E-724	-	-1/+1	-0.5
Viscosidad absoluta (60°C)	ASTM D-4402	Poises	1000 mín.	1400
Ductilidad (25°C, 5cm/min)	ASTM D-113	Cm	100 mín.	>105
Solubilidad en Tricloroetileno	ASTM D-2042	%	99 mín.	>99
Contenido de agua	ASTM D-95	%	0.2 máx.	<0.2
Punto de inflamación COC	ASTM D-92	°C	232 mín.	295
<b>Ensayos sobre el residuo luego del RTFOT</b>				
Pérdida de masa	ASTM D-2872	%	1.0 máx.	0.2
Penetración del residuo (25°C, 100 g, 5 s) con respecto a la original	ASTM D-5	%	48 mín.	65

**Tabla 3.** Características generales del cemento asfáltico CA 60-70 proveniente de Apiay.

Ensayo	Método	Unidad	CA 60-70	Resultado
<b>Ensayos sobre el asfalto original</b>				
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	ASTM D-5	0.1 mm	60-70	67
Índice de penetración	INV. E-724	-	-1/+1	-0.7
Viscosidad absoluta (60°C)	ASTM D-4402	Poises	1500 mín.	1750
Ductilidad (25°C, 5cm/min)	ASTM D-113	cm	100 mín.	>105
Solubilidad en Tricloroetileno	ASTM D-2042	%	99 mín.	>99
Contenido de agua	ASTM D-95	%	0.2 máx.	<0.2
Punto de inflamación COC	ASTM D-92	°C	232 mín.	275
<b>Ensayos sobre el residuo luego del RTFOT</b>				
Pérdida de masa	ASTM D-2872	%	1.0 máx.	0.4
Viscosidad absoluta (60°C)	ASTM D-4402	Poises	10000 máx.	5200
Penetración del residuo (25°C, 100 g, 5 s) con respecto a la original	ASTM D-5	%	52 mín.	70

Luego de realizar los ensayos al agregado pétreo se fabricaron muestras de mezclas asfálticas (llamadas briquetas) del tipo MDC-2. Con el fin de evaluar la influencia de la granulometría en el comportamiento de las mezclas modificadas, las briquetas fueron fabricadas utilizando las franjas inferior, central y superior de la granulometría definida por las especificaciones del INVIAS (2007) (ver tabla 4). Fueron fabricadas cinco briquetas (compactadas a 75 golpes por cara) por tipo de mezcla para cada porcentaje de asfalto entre 4,0 y 6,5%, con el fin de realizar el diseño Marshall para determinar el contenido óptimo de CA de las mezclas convencionales (el diseño se realizó con base en los criterios establecidos por INVIAS, 2007). Una vez se obtuvo el porcentaje óptimo de CA se fabricaron nuevas briquetas agregando por vía húmeda el desecho de PVC en porcentajes de 0,5, 1,0 y 1,5 (con respecto al peso total de la briketa de 1200 g), manteniendo el porcentaje de CA. Estos porcentajes de adición de PVC fueron escogidos con base en estudios realizados con anterioridad (Rondón et al., 2004; Rondón y Rodríguez, 2005; Rondón et al., 2007), en donde se demostró que al adicionar porcentajes superiores a 1.5%, la tendencia de las mezclas modificadas (empleando la misma granulometría y el mismo CA) es disminuir su resistencia mecánica. Por cada porcentaje de aditivo se fabricaron cinco briquetas para ensayarlas en el

aparato Marshall. Además se realizó el mismo estudio rebajando el porcentaje óptimo de CA en 0,3%. Por último se realizaron ensayos de penetración, ductilidad, punto de ablandamiento e inflamación y viscosidad al CA convencional y al modificado siguiendo los procedimientos recomendados por las especificaciones INVIAS (2007a). El desecho de PVC proviene de la empresa Mexichem – Resinas Colombia S.A., presenta una densidad de 0,9 g/cm<sup>3</sup> y partículas de coloración blanca que pasan el tamiz No. 200 en un ensayo de granulometría. La temperatura de mezclado del cemento asfáltico con el PVC estuvo entre 100-120°C y el tiempo de mezclado fue de 30 - 45 minutos. Las temperaturas de mezcla y de compactación del CA modificado con el agregado pétreo fueron obtenidas con base en los resultados del ensayo de viscosidad y pueden ser consultadas en Rondón et al. (2008a).

**Tabla 4.** Gradación de mezclas densas en caliente tipo 2 (MDC-2).

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA		
Normal	Alternativo	Inferior	Central	Superior
19.0 mm	¾"	100	100	100
12.5 mm	½"	80	87.5	95
9.5 mm	3/8"	70	79	88
4.75 mm	No.4	49	57	65
2.00 mm	No.10	29	37	45
425 µm	No.40	14	18.5	25
180 µm	No.80	8	12.5	17
75 µm	No.200	4	6	8

**Resultados y análisis**

**MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.** Los cálculos obtenidos del ensayo Marshall para las briquetas elaboradas con CA convencional están registrados en las

tablas 5-10. En las tablas 5-7 se presentan los resultados de las mezclas convencionales tipo MDC-2 que emplearon CA 80-100 y en las tablas 8-10, aquellas que emplearon CA 60-70.

**Tabla 5.** Resumen del ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional MDC-2 con CA 80-100, utilizando la franja central de la granulometría.

CA [%]	Peso Unitario [g/cm <sup>3</sup> ]	Estabilidad (E) [kg]	Vacíos en la mezcla [%]	Vacíos en agregados [%]	Flujo (F) [mm]	Relación E/F [kg/mm]
4.5	2.21	710	7.63	17.52	3.33	213.09
5.0	2.24	835	5.76	16.89	3.45	242.14
5.5	2.24	853	5.09	17.33	3.51	243.48
6.0	2.23	813	4.64	17.96	3.70	219.71

**Tabla 6.** Resumen del ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional MDC-2 con CA 80-100, utilizando el límite inferior de la granulometría.

CA [%]	Peso Unitario [g/cm <sup>3</sup> ]	Estabilidad (E) [kg]	Vacíos en la mezcla [%]	Vacíos en agregados [%]	Flujo (F) [mm]	Relación E/F [kg/mm]
4.5	2.22	1229	7.15	16.36	2.69	457.37
5.0	2.24	1397	5.79	16.08	3.40	410.58
5.5	2.29	1580	3.17	15.62	3.65	432.70
6.0	2.27	1515	2.96	16.48	3.92	386.00

**Tabla 7.** Resumen del ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional MDC-2 con CA 80-100, utilizando el límite superior de la granulometría.

CA [%]	Peso Unitario [g/cm <sup>3</sup> ]	Estabilidad (E) [kg]	Vacíos en la mezcla [%]	Vacíos en agregados [%]	Flujo (F) [mm]	Relación E/F [kg/mm]
4.5	2.19	1907	8.50	16.27	3.73	510.87
5.0	2.23	2476	6.10	16.15	4.04	613.16
5.5	2.25	1808	4.64	15.90	4.27	423.04
6.0	2.30	1615	1.82	16.50	4.32	374.02

**Tabla 8.** Resumen ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional tipo MDC-2 con CA 60-70, utilizando la franja central de la granulometría.

CA [%]	Peso Unitario [g/cm <sup>3</sup> ]	Estabilidad (E) [kg]	Vacíos en la mezcla [%]	Vacíos en agregados [%]	Flujo (F) [mm]	Relación E/F [kg/mm]
5.0	2.24	1189	5.83	16.95	3.40	349.86
5.5	2.25	1323	4.47	16.80	3.60	367.84
6.0	2.25	1393	3.48	16.96	3.69	377.18
6.5	2.26	1229	3.02	17.60	3.92	313.38

**Tabla 9.** Resumen ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional tipo MDC-2 con CA 60-70, utilizando el límite inferior de la granulometría.

CA [%]	Peso Unitario [g/cm <sup>3</sup> ]	Estabilidad (E) [kg]	Vacíos en la mezcla [%]	Vacíos en agregados [%]	Flujo (F) [mm]	Relación E/F [kg/mm]
4.5	2.24	1740	6.49	16.47	3.85	452.28
5.0	2.25	1861	5.21	16.37	4.08	456.55
5.5	2.27	1797	3.70	16.08	4.29	419.28
6.0	2.26	1550	3.74	17.15	4.39	352.78

**Tabla 10.** Resumen ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional tipo MDC-2 con CA 60-70, utilizando el límite superior de la granulometría.

CA [%]	Peso Unitario [g/cm <sup>3</sup> ]	Estabilidad (E) [kg]	Vacíos en la mezcla [%]	Vacíos en agregados [%]	Flujo (F) [mm]	Relación E/F [kg/mm]
4.5	2.24	1802	6.67	16.75	3.85	468.19
5.0	2.24	2127	5.61	16.72	4.08	521.74
5.5	2.26	1990	4.39	16.68	4.29	464.37
6.0	2.28	1835	2.56	16.78	4.39	417.50

Los porcentajes óptimos de CA de acuerdo con los datos de las tablas 5-10 son 5,3% y 5,6% para el caso de mezclas fabricadas con CA 80-100 y CA 60-70 respectivamente, y utilizando la franja granulométrica central para la

elaboración de las muestras. 5,5% y 5,2% para el caso de mezclas fabricadas con CA 80-100 y CA 60-70 respectivamente, y utilizando los límites inferior y superior para la elaboración de las muestras.

Los porcentajes cumplen los requisitos mínimos exigidos por la especificación INVIAS (2007) para mezclas MDC-2 y tránsito tipo NT1 y/o NT2 (bajos y medios volúmenes respectivamente).

**MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS.** Los datos de resistencia mecánica obtenidos en el ensayo Marshall para las mezclas asfálticas modificadas son presentados de manera gráfica en las figuras 1-4.

Las figuras 1-2 presentan los resultados de los ensayos realizados sobre las muestras fabricadas con la franja central de la granulometría que define INVIAS (2007) para mezclas tipo MDC-2. En las figuras 1a y c y 2 a y c se observa que los valores de estabilidad ( $E$ ) y relación entre la estabilidad y el flujo ( $F$ ) (llamada por algunos investigadores como rigidez Marshall y físicamente puede ser entendida como una resistencia mecánica evaluada en el estado de falla de las mezclas, bajo carga monotónica en un ensayo de tracción indirecta) de las mezclas modificadas que emplean CA 80-100 y CA 60-70 son mayores, para cualquier porcentaje de CA y desecho de PVC, en comparación con la mezcla convencional. Los valores de estabilidad aumentan cuando se incrementa el contenido de PVC entre 0.5-1.0% para cualquier contenido de CA. Para el caso de 1.0-1.5% de adición de PVC la estabilidad tiende a disminuir. En los rangos de CA utilizados, la influencia del contenido de CA es mínima y los valores de estabilidad y  $E/F$  son similares. Los mayores valores

de estabilidad (1438 kg y 2020 kg para CA 80-100 y CA 60-70 respectivamente) se obtienen cuando se adiciona 1.0% de PVC al CA. De la misma forma, los mayores valores de resistencia mecánica bajo carga monotónica (evaluada a través de la relación  $E/F$ ) de 472 kg/mm y 553 kg/mm para CA 80-100 y CA 60-70 respectivamente se obtienen cuando se adiciona 0.5% de PVC al CA. Los incrementos de estabilidad y  $E/F$  en estos porcentajes son de 68% y 92% para CA 80-100 y de 50% para CA 60-70 respectivamente. Este aumento en rigidez y resistencia se debe a que con la incorporación del PVC al CA se obtiene un material más rígido y viscoso tal como se ha reportado en otras investigaciones (Rondón et al., 2007; Rondón et al., 2008a). La evolución y los valores de flujo de las mezclas son similares para cualquier porcentaje de CA y PVC (ver figuras 1b y 2b). Las mezclas modificadas experimentan mayores flujos que las mezclas convencionales debido principalmente a que para llevarlas a la falla es necesario deformarlas más (debido a su mayor resistencia mecánica bajo carga monotónica a tracción indirecta o a la estabilidad). Comportamientos similares han sido reportados modificando el cemento asfáltico con otros aditivos poliméricos del tipo plastómero (por ejemplo Reyes y Reyes, 2003; Rondón et al, 2004; Rondón et al, 2006; Rondón et al, 2007; Rondón et al, 2008a; Rondón et al, 2008b; Reyes y Figueroa, 2009).

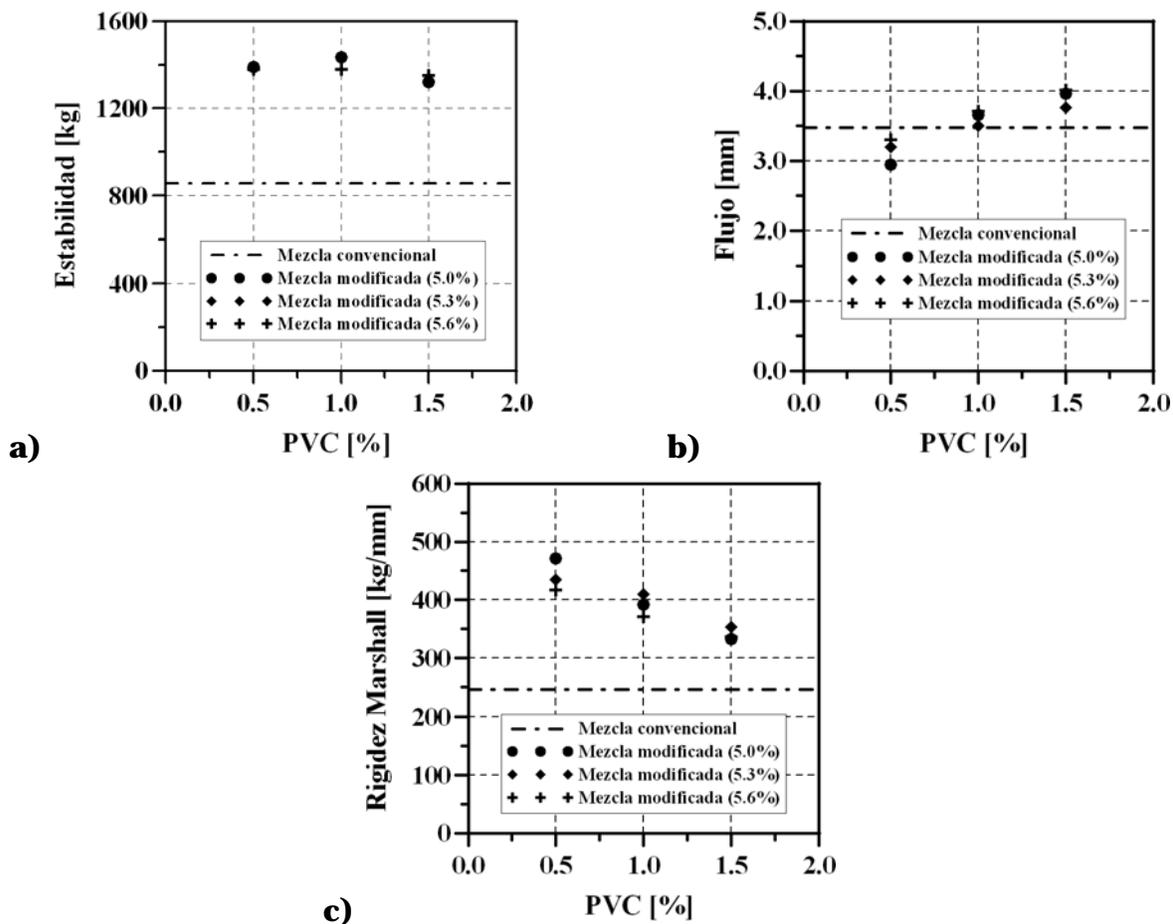


Figura 1. a) Estabilidad, b) flujo y c) rigidez Marshall vs. Porcentaje de desecho de PVC para mezclas modificadas MDC-2 empleando CA 80-100 y granulometría con la franja central.

El comportamiento de los parámetros del ensayo Marshall, para el caso de las mezclas fabricadas con los límites inferior y superior de la franja granulométrica, depende del tipo de ligante utilizado. Por ejemplo, en las mezclas modificadas con CA 80-100 la tendencia de los parámetros de estabilidad y  $E/F$  es presentar mayores

valores con respecto a las mezclas convencionales, especialmente cuando se adiciona PVC en porcentajes entre 0.5-1.0% (ver figura 3). Este incremento de resistencia mecánica bajo carga monotónica es inferior en comparación con el que experimentaron las mezclas fabricadas con la franja central de la granulometría.

La tendencia general de la resistencia mecánica de las mezclas modificadas es disminuir a medida que incrementa el porcentaje de PVC. Un comportamiento contrario se observa en las mezclas modificadas con CA 60-70, donde la tendencia es experimentar valores de

estabilidad y  $E/F$  inferiores a las mezclas convencionales (ver figura 4). De la misma forma que las mezclas modificadas con CA 8-100, la tendencia general de la resistencia mecánica de las mezclas con CA 60-70 es disminuir a medida que incrementa el porcentaje de PVC.

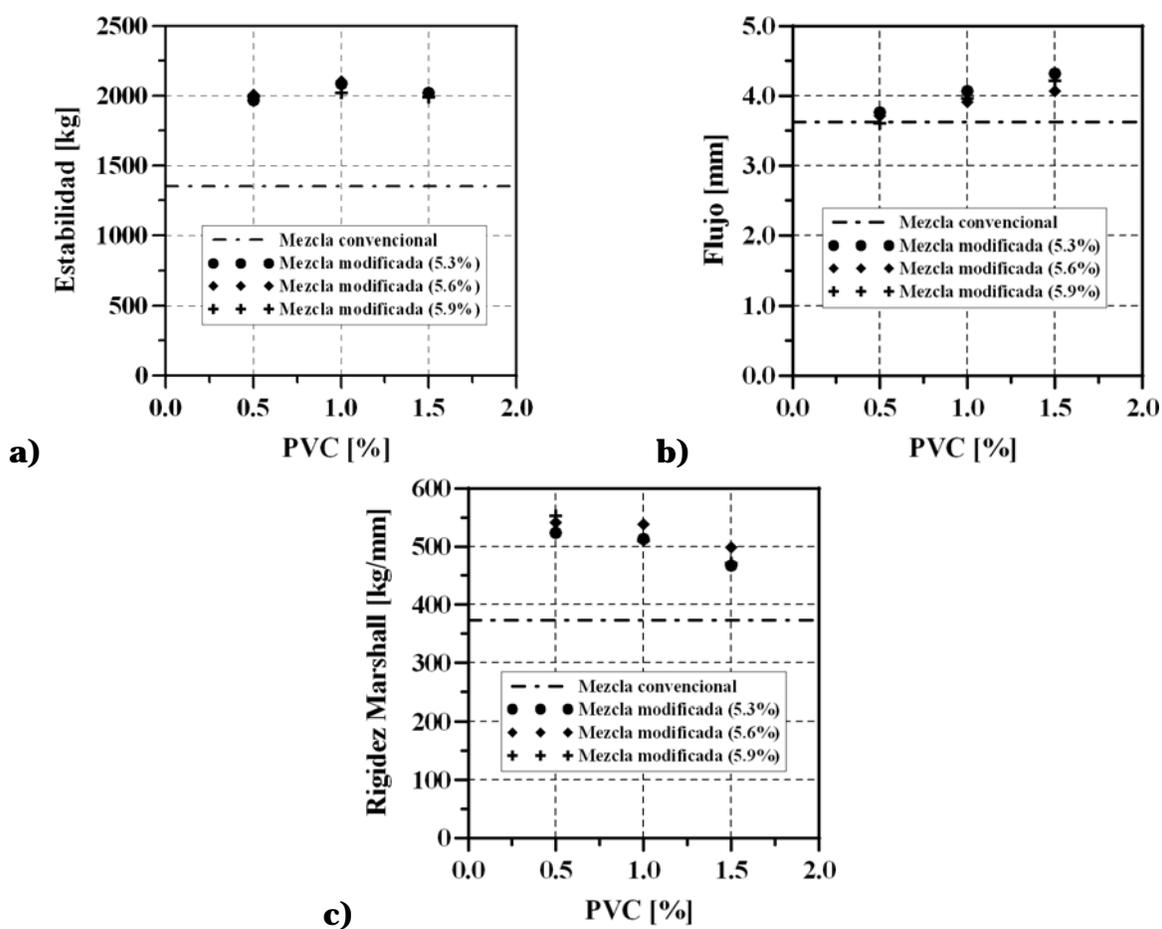
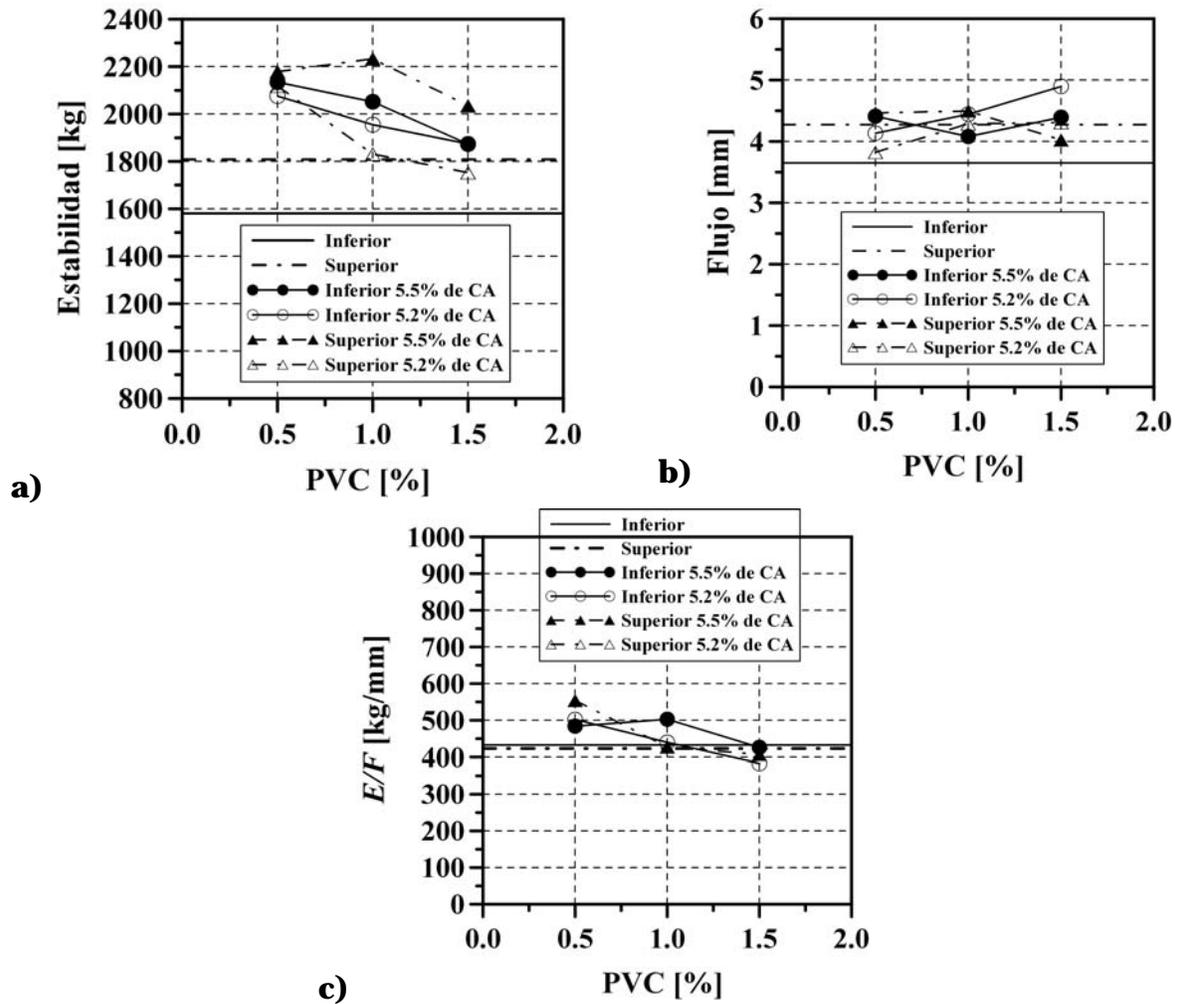
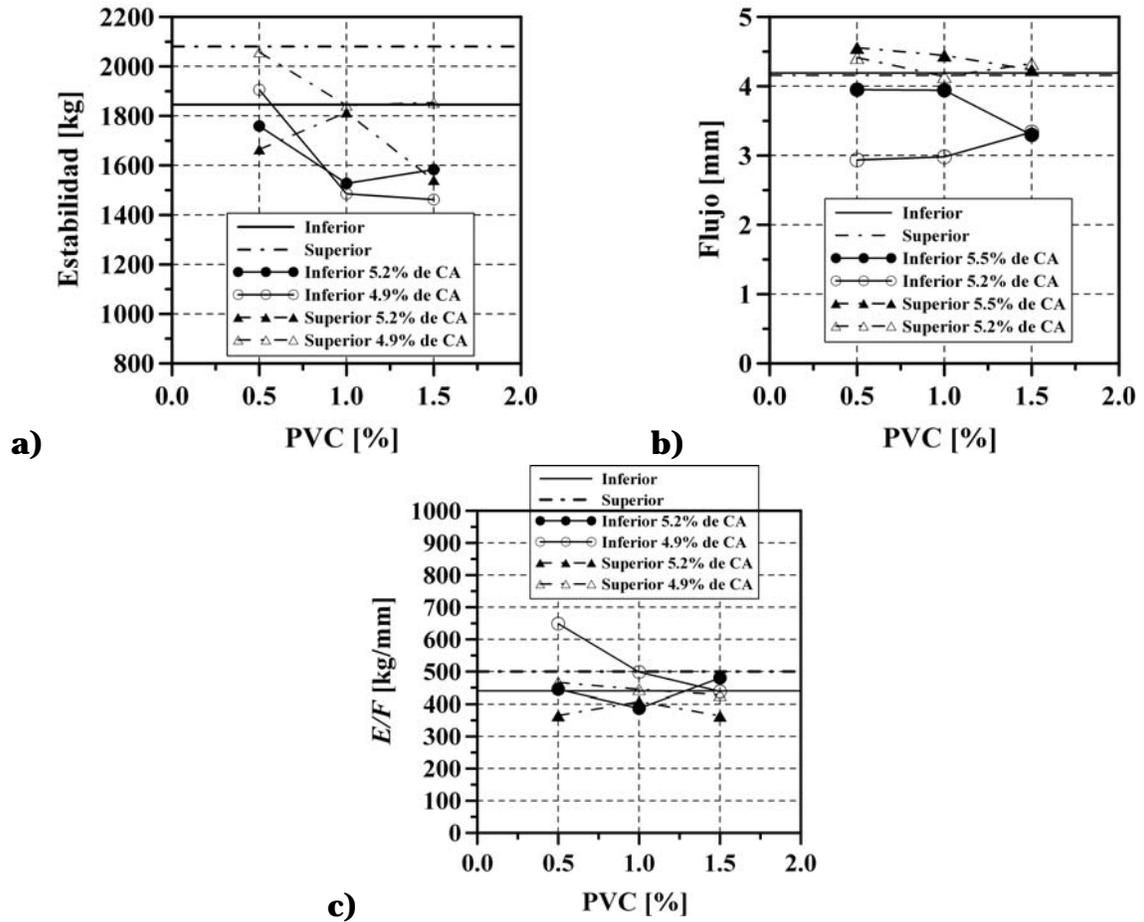


Figura 2. a) Estabilidad, b) flujo y c) rigidez Marshall vs. Porcentaje de desecho de PVC para mezclas modificadas MDC-2 empleando CA 60-70 y granulometría con la franja central.



**Figura 3.** a) Estabilidad, b) flujo y c) rigidez Marshall vs. Porcentaje de desecho de PVC para mezclas modificadas MDC-2 empleando CA 80-100 y granulometría con los límites inferior y superior.



**Figura 4.** a) Estabilidad, b) flujo y c) rigidez Marshall vs. Porcentaje de desecho de PVC para mezclas modificadas MDC-2 empleando CA 60-70 y granulometría con los límites inferior y superior.

## Conclusiones

Las mezclas asfálticas modificadas con desecho de PVC experimentan un incremento notable en la resistencia mecánica en tracción indirecta en comparación con las mezclas convencionales cuando se utiliza para la fabricación de las muestras, la franja central de la granulometría que estipulan las especificaciones de construcción en Colombia. Lo anterior es debido principalmente al aumento en la consistencia y viscosidad del CA modificado en comparación con el convencional. El porcentaje óptimo de adición de PVC se encuentra entre 0.5 y 1-0% con respecto a la masa total de la muestra ensayada.

En general, las mezclas asfálticas modificadas con desecho de PVC tienden a poseer un comportamiento rígido. A bajas temperaturas de servicio estas mezclas pueden tener un comportamiento frágil, llevando a pensar que tendrían un mejor desempeño en climas cálidos. Lo anterior permite prever que el desecho

de PVC como modificador de asfaltos puede ser un material que permita mejorar las características de rigidez y resistencia a las deformaciones permanentes de mezclas que sean utilizadas en climas cálidos.

La resistencia que tienen los asfaltos modificados a fluir es mayor con respecto al convencional. Los valores de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad del asfalto modificado permiten predecir menor ahuellamiento a altas temperaturas de servicio en comparación con los convencionales.

Las fases futuras del proyecto deben medir propiedades como envejecimiento a corto y largo plazo de los asfaltos, caracterización dinámica y resistencia a fatiga de las mezclas asfálticas. Adicionalmente para entender los cambios que ocurren en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas es necesario realizar caracterización reológica y química del CA modificado.

### Bibliografía

- COPELAND, A. R., YOUTCHEFF JR, J. S AND SHENOY, A. Moisture Sensitivity of Modified Asphalt Binders: Factors Influencing Bond Strength. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2007, Issue 1998, pp. 18-28.
- CHEN, J-S., LIAO, M-C. AND SHIAH, M-S. Asphalt modified by Styrene-Butadiene-Styrene triblock copolymer: morphology and model. In: *Journal of Material in Civil Engineering*, 2002, vol. 14, Issue 3, pp. 224-229,
- INVIAS – INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Especificaciones generales de Construcción de carreteras. Bogotá D.C, 2007.
- INVIAS – INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Normas de Ensayos de Materiales para Carreteras. V. I y II. Bogotá D.C, 2007a.
- LEE, S-J., AMIRKHANIAN, S-N., SHATANAWI, K. AND THODESEN, C. Influence of compaction temperature on rubberized asphalt mixes and binders. In: *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2008, vol. 35, num. 9, pp. 908–917.
- MCQUILLEN, J. L., TAKALLOU, H. B., HICKS, R. G. AND ESCH, D. Economic Analysis of Rubber-Modified Asphalt Mixes. In: *Journal of Transportation Engineering*, 1988, vol. 114, No. 3, 259-277.
- OLIVARES, F., SCHULTZ, B., FERNÁNDEZ, M. AND MORO, B. Rubber-modified hot-mix asphalt pavement by dry process. In: *International Journal of Pavement Engineering*, 2009, vol. 10, Issue 4, pp. 277-288.
- PAPAGIANNAKIS, A. T. AND LOUGHEED, T. J. A review of crumb-rubber modified asphalt concrete technology. Research report for project T9902-09 “Rubber-Asphalt Study”, Washington State Transportation Commission and U. S. Department of Transportation, 1995.
- REYES, F. A. Y FIGUEROA, A. S. Uso de desechos plásticos en mezclas asfálticas: Síntesis de la investigación Colombiana. Bogotá D.C. (Colombia), Ed. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. 2009. 103 p. ISBN: 978-958-716-136-6.
- REYES, F. A. Y REYES, O. J. Efecto de los polímeros en mezclas asfálticas *Asfaltos y Pavimentos*, vol. 8, No. 5, 13-18, 2003.
- RONDÓN, H. A., HERRERA, O. A., CAICEDO, L. R., DÍAZ, D. M., GUTIÉRREZ, A. P., LADINO, C. M. Y DÍAZ, F. A. Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con policloruro de vinilo, látex natural y caucho reciclado. En: 4as. Jornadas Internacionales del Asfalto, Cartagena (Colombia). 2004. 17 p.

- RONDÓN, H. A., PINZÓN, M. E., REYES, F. A., VACCA, H. A. Y MORENO, L. A. Resistencia mecánica evaluada en el ensayo Marshall de una mezcla densa en caliente elaborada con asfaltos modificados con asfaltita. En: *Ciencia, tecnología e innovación Tomo 1*, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 45-56, 2008b.
- RONDÓN, H. A., RODRÍGUEZ, E., MOJICA, A. A. Y HERNÁNDEZ, H. Análisis del comportamiento de una mezcla densa en caliente (MDC-1) modificando el asfalto con desecho de polietileno. En: *5as. Jornadas Internacionales del asfalto*, Cartagena (Colombia). 2006. 12 p.
- RONDÓN, H. A. Y RODRÍGUEZ, E. Evaluación del comportamiento de una mezcla asfáltica densa en caliente, tipo MDC-1, elaborada con asfalto modificado con desecho de policloruro de vinilo. En: *XV Simposio sobre Ingeniería de Pavimentos, Pontificia Universidad Javeriana*, Bogotá D.C. (Colombia). 2005. 12p.
- RONDÓN, H. A., REYES, F. A. Y OJEDA, B. E. Comportamiento de una mezcla densa en caliente modificada con desecho de policloruro de vinilo (PVC) En: *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Vol. 18, No. 2, 29-44, 2008a.
- RONDÓN, H. A., RODRÍGUEZ, E. Y MORENO, L. A. Comportamiento de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (PEAD) y poliestireno (PS). En: *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, No. 11, 91-104, 2007.
- RONDÓN, H. A., REYES, F. A., FIGUEROA, A. S., RODRÍGUEZ, E., REAL, C. M. Y MONTEALEGRE, T. A. Mezclas asfálticas modificadas en Colombia. En: *Revista Infraestructura Vial*, No. 19, 12-21, 2008.
- STASTNA, J., ZANZOTTO, L. AND VACIN, O. Damping of shear vibrations in asphalt modified with styrene-butadiene-styrene polymer. *Transportation research record, Annual Meeting of the Transportation Research Board*, No. 1728, 15-20, 2000.
- YILDIRIM, Y. Polymer modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, Issue 1, 66-72, 2007.