

Rondón Quintana, Hugo Alexander; Reyes Lizcano, Fredy Alberto; Ojeda Martínez, Blanca Esperanza
COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA DENSA DE ASFALTO EN CALIENTE MODIFICADA CON
DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO (PVC)

Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 18, núm. 2, diciembre, 2008
Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91100202>

COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA DENSA DE ASFALTO EN CALIENTE MODIFICADA CON DESECHO DE POLICLORURO DE VINILO (PVC)

BEHAVIOR OF A DENSE MIXTURE OF ASPHALT IN WARM MODIFIED WITH WASTE OF POLYCHLORIDE OF VINYL

Hugo Alexander, Rondón Quintana

Ingeniero Civil, M. Sc., Ph. D., Director de Investigación. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Católica de Colombia. Dg. 47 No. 15-50, sede El Claustro, Bogotá D.C. (Colombia). Teléfono: 3277300. Fax: 2858792. harondon@ucatolica.edu.co

Fredy Alberto, Reyes Lizcano

Ingeniero Civil, M. Sc., Ph. D., Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C., Colombia, Calle 40 No. 5 – 50, Edificio José Gabriel Maldonado, Piso 1. Tel/Fax. (57-1) 3208320, Ext. 5270. fredy.reyes@javeriana.edu.co

Blanca Esperanza, Ojeda Martínez

Ingeniera Civil. Auxiliar de investigación. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Católica de Colombia. Dg. 47 No. 15-50, sede El Claustro, Bogotá D.C. (Colombia). Teléfono: 3277300. Fax: 2858792. bojeda@javeriana.edu.co

Fecha de recepción: agosto 20 de 2008

Fecha de aceptación: 15 de diciembre de 2008

RESUMEN

En el mundo la tecnología de los asfaltos modificados ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales cuando experimentan niveles elevados de tránsito y gradientes de temperatura. Por lo general lo que se busca con este tipo de tecnología es mejorar algunas de las propiedades mecánicas y reológicas de los asfaltos y las mezclas asfálticas convencionales tales como la susceptibilidad térmica, la rigidez, y la resistencia al envejecimiento, a las deformaciones plásticas y a la fatiga. El artículo presenta los resultados experimentales de ensayar una mezcla asfáltica densa en caliente modificada con desecho de policloruro de vinilo (el cual se denominará en el presente trabajo PVC). Para la evaluación del comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas se realizaron ensayos Marshall, módulo dinámico y deformación permanente. Para el cemento asfáltico (CA) con y sin aditivo se realizaron ensayos de caracterización de asfaltos como penetración, punto de ablandamiento y viscosidad. La modificación de las mezclas se realizó por vía húmeda y seca. Adicionando desecho de PVC al cemento asfáltico y a las mezclas, se obtiene un material más rígido con mayor resistencia a la penetración y menor susceptibilidad térmica a fluir.

Palabras claves: desecho de policloruro de vinilo (PVC), asfalto modificado, mezcla densa en caliente.

ABSTRACT

Modified Asphalt Technology has been widely used in the world, as a mean to improve the characteristics of conventional paving asphalt submitted to high traffic loads and high temperature gradients. The main purpose of this technology is to make improvements of some mechanical and rheological properties of asphalt and conventional paving asphalt mixtures such as thermal susceptibility, stiffness, resistance to the aging, to plastic deformation and to mechanical fatigue. This article presents the experimental results of testing the behavior of a dense mixture of asphalt in warm modified with waste of polychloride of vinyl, that it will be called in the present research as PVC. Different testings, such as Marshall, dynamic modulus, and permanent strain were carried out to evaluate the behavior of both conventional paving asphalt and modified asphalt mixture. Also, both normal and modified asphalt cement with and without additives were being tested to characterise the asphalt such as penetration, viscosity and ball tests. Moreover, mixtures were modified by dry and wet means. As a main conclusion, the modification of asphalt cement and asphalt mixtures by adding PVC waste is yielded a material with higher rigidity, higher resistance to penetration and less thermal susceptibility.

Key words: waste of polyvinyl chloride (PVC), asphalt modified, hot-mix asphalt (HMA).

INTRODUCCIÓN

La tendencia en los últimos 30 años del parque automotor en Colombia ha sido la de incrementar el número y magnitud de cargas [2, 5, 6,], lo que genera en las capas asfálticas mayores niveles de esfuerzo y deformación, que se deben contrarrestar con materiales asfálticos que presenten mejores comportamientos que los tradicionales. Con el fin de mejorar las propiedades de los materiales y mezclas asfálticas, se han adelantado varias investigaciones en Colombia y el mundo (un estado del conocimiento sobre el tema para el caso colombiano se puede consultar en el artículo de Rondon y otros [7]). El objetivo principal de estas investigaciones ha sido mejorar las propiedades mecánicas, químicas y reológicas de los asfaltos y las mezclas asfálticas convencionales con el fin de elevar la rigidez y la resistencia (a carga monotónica, ahuellamiento, fatiga y envejecimiento), y disminuir la susceptibilidad térmica.

El presente trabajo buscó medir en laboratorio el cambio que experimenta una mezcla asfáltica (del tipo MDC-2, de acuerdo a [3]) cuando se adiciona policloruro de vinilo (PVC) por vía húmeda al cemento asfáltico y por vía seca al agregado pétreo. El PVC utilizado en esta investigación es un producto de desecho industrial generado durante el proceso de fabricación del mismo y fue escogido debido a su alta producción (lo que genera un impacto ambiental negativo) y difícil reutilización en procesos industriales. Adicionalmente el conocimiento que se tiene en Colombia sobre modificación de asfaltos con este desecho es escaso.

Sobre las mezclas asfálticas convencionales (sin desecho de PVC) y modificadas se realizaron ensayos Marshall y de caracterización dinámica para evaluar el módulo y la resistencia a la deformación permanente. Sobre el cemento asfáltico con y sin aditivo se realizaron ensayos de caracterización como: penetración, viscosidad y punto de ablandamiento. El artículo presenta la metodología utilizada, los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio con su correspondiente análisis y las conclusiones del trabajo.

1. METODOLOGÍA

El agregado pétreo empleado para la elaboración de las briquetas (ensayo Marshall) es procedente de la cantera Fuzca (Bogotá D.C.). A este material se le realizaron los siguientes ensayos, siguiendo las especificaciones del Instituto Nacional de Vías [4]: 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), partículas fracturadas (INV. E-227), ensayo para medir el equivalente de arena (INV. E-133) e índice de alargamiento aplanamiento (INV. E-230).

El cemento asfáltico que se utilizó para la elaboración de las briquetas proviene de la planta de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) en Barrancabermeja, cuyas características se muestran en la Tabla 1. El desecho de PVC proviene de la empresa Mexichem – Resinas Colombia S.A., presenta una densidad de 0.9 g/cm^3 y partículas de coloración blanca que pasan el tamiz No. 200 en un ensayo de granulometría.

Tabla 1. Características generales del cemento asfáltico CA 80-100 proveniente de Barrancabermeja.

Ensayo	Método	Unidad	CA 80-100	Resultado
Ensayos sobre el asfalto original				
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
Ensayos sobre el residuo luego del RTFOT				
Pérdida de masa	ASTM D-2872	%	1.0 máx.	0.2
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	ASTM D-5	%	48 mín.	65

Fuente: Shell de Colombia S.A. Carta técnica Shell Bitumen, 2007.

Luego de realizar los ensayos al agregado pétreo se fabricaron cinco briquetas (compactadas a 75 golpes por cara) para cada porcentaje de asfalto de 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 y 7.0%, con el fin de realizar el diseño Marshall para determinar el contenido óptimo de asfalto. Las briquetas fueron elaboradas de tal forma que cumplieran con las especificaciones [3, 4] para mezclas densas en caliente tipo 2 (MDC-2). El ensayo realizado a la mezcla asfáltica fue el de resistencia de mezclas bituminosas

empleando el aparato Marshall (INV. E-748) y el diseño fue realizado con base en los criterios presentes en el artículo 450-07 de las especificaciones generales de construcción del INVIA [3].

Una vez obtenido el porcentaje óptimo de asfalto, se fabricaron nuevas briquetas añadiendo el aditivo (PVC) por vía húmeda y seca a las mezclas. Por vía húmeda, el PVC se adicionó al cemento asfáltico (CA) en porcentajes de 0.5, 1.0 y 1.5% (con respecto al peso total de la briqueta de 1200 g) y manteniendo el porcentaje de asfalto. Estos porcentajes de adición de PVC se escogieron de los estudios realizados anteriormente [8-10], en los cuales se demostró que las adiciones superiores al 1.5%, disminuyen la resistencia mecánica de las mezclas modificadas elaboradas con la misma granulometría y el mismo CA. Por vía seca, se sustituyó parte del 6.0% del filler necesario para la fabricación de las briquetas con el 2.0, 4.0 y 6.0% de PVC. Para evaluar el comportamiento de las mezclas, se fabricaron cinco briquetas que se ensayaron en el aparato Marshall. Adicionalmente, se realizó el mismo estudio reduciendo el porcentaje óptimo de asfalto en 0.5%.

Con los resultados del ensayo Marshall se determinó el porcentaje de cemento asfáltico + aditivo (PVC) con base en el valor máximo de la relación estabilidad – flujo. Esta relación se puede entender como una resistencia mecánica evaluada en el estado de falla de las mezclas bajo carga monotónica en un ensayo de tracción indirecta. Se fabricaron nuevas briquetas por vía húmeda y seca con las dosificaciones de CA y PVC para realizar los ensayos de módulo dinámico (INV. E-749) y de resistencia a la deformación permanente de mezclas asfálticas (EN 12697-22, [1], este ultimo es un ensayo internacional que en Colombia se puede efectuar según el artículo 450-07 del INVIA [3]).

Por último se realizaron ensayos de punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola, INV. E-712), penetración de los materiales asfálticos (INV. E-706) y viscosidad Brookfield (ASTM D-4402), tanto al asfalto convencional como al modificado.

Tabla 2. Temperaturas de mezcla y de compactación.

Porcentaje de CA	Porcentaje de PVC	Temperatura de mezcla [°C]	Temperatura de compactación [°C]
Convencional	-	142	133
6.0	0.5	152	143
	1.0	178	162
	1.5	203	182
	6.5	148	141
6.5	1.0	175	160
	1.5	195	179

La temperatura de mezclado del cemento asfáltico con el PVC estuvo entre 100-120°C y el tiempo de mezclado fue de 30 minutos. Las temperaturas de mezcla y de compactación del CA modificado con el agregado pétreo se presentan en la Tabla 2 (caso vía húmeda) y fueron obtenidas con base en los resultados del ensayo de

viscosidad. Por vía seca, las temperaturas de mezcla y compactación fueron las mismas que se utilizaron para las mezclas convencionales.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Caracterización del agregado pétreo. Para la fabricación de las mezclas tipo MDC-2 se tomaron los valores promedio en los porcentajes de la franja granulométrica que exige la especificación INVIA [3] (INV. 450.2.1) (Tabla 3).

Tabla 3. Granulometría de las briquetas Marshall.

Tamiz No.	% Retenido
¾"	10
½"	14
3/8"	7,5
No. 4	17,5
No. 10	14
No. 40	17,5
No. 80	11,5
No. 200	2
Fondo	6

En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos de los ensayos de caracterización realizados sobre el agregado pétreo. Se observa que el material puede ser empleado para la elaboración de las briquetas de acuerdo con los lineamientos establecidos por las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIA [3] (INV. 400.2.1).

Tabla 4. Caracterización de los agregados.

Característica	Valor
Peso específico	2.57
Equivalente de arena	28.0%
Caras fracturadas	100%
Índice de alargamiento	
Índice de aplanamiento	13 y 23%
Resistencia al desgaste en la máquina de los Ángeles	26.0%

Ensayo Marshall. En las gráficas obtenidas del ensayo Marshall se muestran los resultados de las briquetas elaboradas con asfalto convencional (Tabla 5), seguido de las muestras con asfalto modificado por vía húmeda (Tablas 6) y la mezcla modificada por vía seca (Tabla 7).

Es importante tener en cuenta que las briquetas con asfalto convencional y modificado fueron elaboradas con el mismo agregado pétreo. El porcentaje óptimo de cemento asfáltico de acuerdo a los datos de la Tabla 5 es de 6.5%, que cumple con los requisitos mínimos exigidos por la especificación INVIA [3] para MDC-2 y tránsitos tipo NT3 (altos volúmenes).

Tabla 5. Resumen del ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional MDC-2 con CA 80-100.

Asfalto [%]	Peso Unitario [g/cm ³]	Estabilidad (E) [kg]	Vacíos de la mezcla [%]	Vacíos en agregados [%]	Flujo (F) [mm]	Relación E/F [kg/mm]
4.5%	2.083	1833	11.42	17.68	2.4	764
5.0%	2.081	1998	10.27	17.79	2.7	740
5.5%	2.092	2111	8.71	17.51	3.1	681
6.0%	2.091	2220	6.69	17.19	3.0	740
6.5%	2.100	2237	5.36	17.44	3.3	678
7.0%	2.093	2243	3.94	17.25	3.7	606

Tabla 6. Resumen del ensayo Marshall para mezcla asfáltica modificada con PVC por vía húmeda.

PVC [%]	Peso unitario [g/cm ³]		Estabilidad (E) [kg]		Vacíos de la mezcla [%]		Flujo (F) [mm]		Relación E/F [kg/mm]	
	6,0%	6,5%	6,0%	6,5%	6,0%	6,5%	6,0%	6,5%	6,0%	6,5%
0,5	2.131	2.138	3004	2830	7.0	6.6	3.8	3.3	791	858
1,0	2.128	2.125	2916	2895	5.9	6.1	3.6	3.0	810	965
1,5	2.148	2.115	2667	2607	4.3	5.0	3.6	3.5	741	745

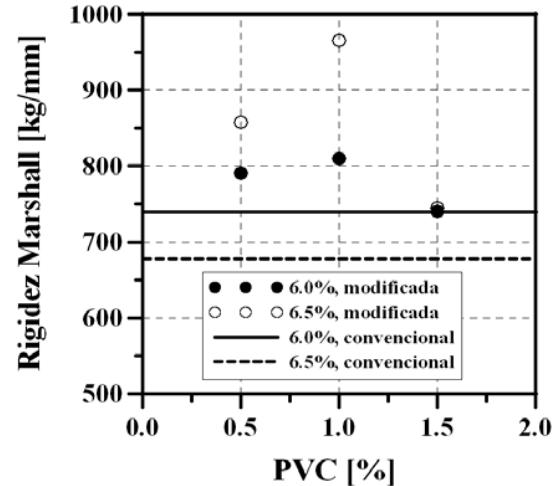
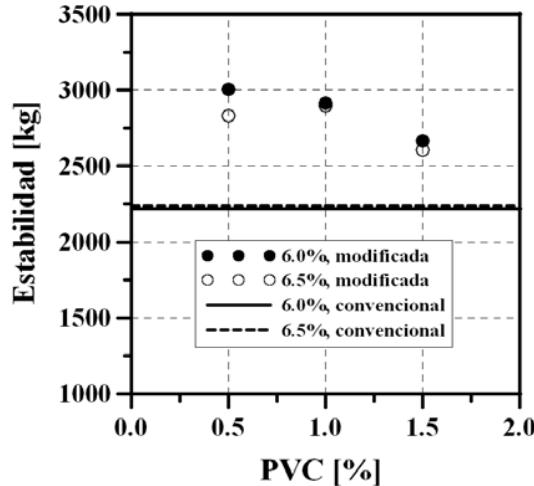
Tabla 7. Resumen del ensayo Marshall para mezcla asfáltica modificada con PVC por vía seca.

PVC [%]	Peso unitario [g/cm ³]		Estabilidad (E) [kg]		Vacíos de la mezcla [%]		Flujo (F) [mm]		Relación E/F [kg/mm]	
	6,0%	6,5%	6,0%	6,5%	6,0%	6,5%	6,0%	6,5%	6,0%	6,5%
2,0	2.131	2.132	2173	2434	5.84	6.27	3.4	4.1	639	594
4,0	2.121	2.114	2383	2410	5.71	5.86	4.1	4.1	581	588
6,0	2.103	2.111	2220	2143	6.14	5.43	4.4	3.6	505	595

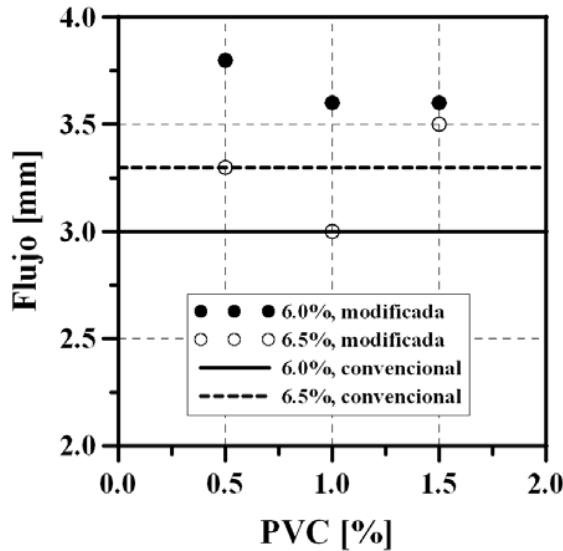
Las Figuras 1-6 presentan la influencia del PVC sobre los valores de estabilidad, rigidez Marshall y flujo para las mezclas modificadas por vía húmeda (Figuras 1-3) y seca (Figuras 4-6). En comparación con la mezcla asfáltica convencional, las modificadas por vía húmeda con 6.0 y 6.5% de cemento asfáltico presentan valores superiores de estabilidad y rigidez Marshall para cualquier porcentaje de PVC adicionado (Figuras 1 y 2 respectivamente).

La estabilidad de las mezclas disminuye con el porcentaje de adición de PVC, mientras que la rigidez Marshall aumenta entre 0.5 y 1.0% de adición y luego disminuye cuando se adiciona 1.5%. Los mayores valores de estabilidad de las mezclas modificadas se obtienen cuando se adiciona 0.5% y 1.0% de PVC al 6.0% y al 6.5% de CA respectivamente. En estos porcentajes de CA y PVC el incremento de estabilidad alcanzado por las mezclas modificadas fue de 35.3% y 29.4%, los mayores valores de rigidez Marshall de las mezclas modificadas se obtienen cuando se adiciona 1.5% de PVC al 6.0% y al 6.5% de CA. En estos porcentajes de CA y

PVC, el incremento de rigidez Marshall alcanzado por las mezclas modificadas fue de 9.5% y 42.3% respectivamente.



Para el caso de la deformabilidad medida de manera indirecta a través del flujo, cuando se utiliza 6.0% de CA las mezclas experimentan mayor deformación para cualquier porcentaje de PVC adicionado, cuando se utiliza 6.5% de CA, la deformación de las mezclas modificadas es menor que las convencionales si se adiciona PVC entre 0.5 y 1.0% (Figura 3).



Cuando la modificación de las mezclas se realiza por vía seca se obtiene un aumento de la estabilidad, con respecto a las mezclas convencionales, cada vez que (Figura 4):

- Se sustituye filler por PVC entre 2.0 y 4.0%, y se emplea 6.5% de CA.
- Se sustituye filler por PVC en un 4.0%, y se emplea 6.0% de CA.

El máximo incremento de la estabilidad del 8.8%, se obtiene cuando se sustituye un 2.0% de filler por PVC en la mezcla y se utiliza 6.5% de CA. La rigidez Marshall de las mezclas modificadas por vía seca es menor en comparación con las convencionales para cualquier porcentaje de CA y de filler sustituido por PVC (Figura 5). Lo anterior se debe al incremento en la deformación de las mezclas (Figura 6).

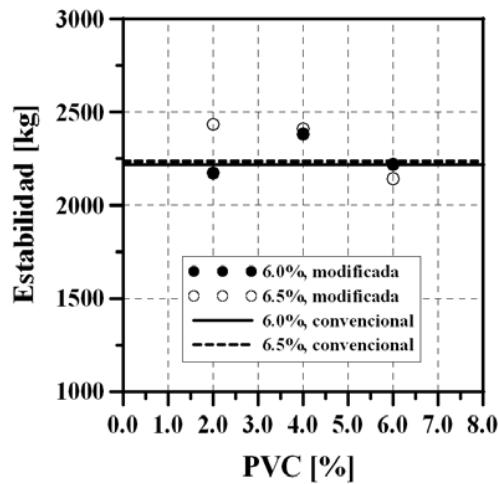


Figura 4. Estabilidad vs. Porcentaje de PVC adicionado por vía seca.

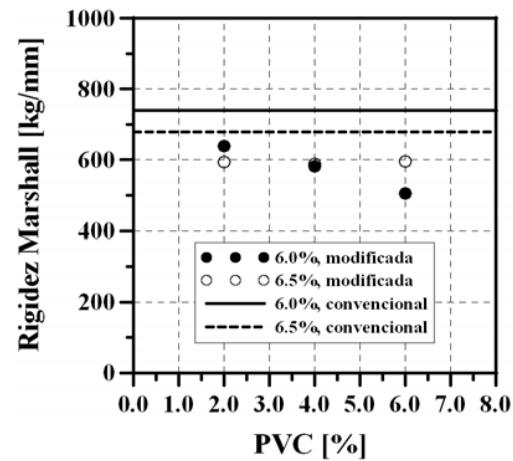


Figura 5. Rigidez Marshall vs. Porcentaje de PVC adicionado por vía seca.

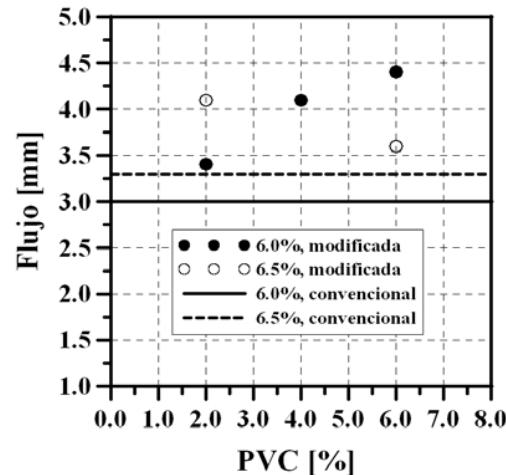


Figura 6. Flujo vs. Porcentaje de PVC adicionado por vía seca.

Con base en los datos presentados en las Tablas 6 y 7, y en las Figuras 1-6, se puede inferir que el mejor comportamiento de las mezclas con 6.5% de asfalto y modificadas por vía húmeda se obtiene cuando se adiciona PVC entre 0.5 y 1.5%. Resultados similares a este estudio con respecto al ensayo Marshall se presentaron en [8-10], en donde se obtuvo un porcentaje óptimo de adición de PVC por vía húmeda del 0.9% cuando se modificó una mezcla asfáltica empleando el mismo tipo

de CA pero con agregado pétreo diferente (es importante resaltar que en estos trabajos [8-10] no se realizaron ensayos de caracterización dinámica ni modificación de las mezclas por vía seca).

Módulo dinámico y deformación permanente. En las Figuras 7-9 se observa la evolución del módulo dinámico con la frecuencia de carga y la temperatura. Los resultados presentados en las Figuras corresponden a mezclas fabricadas con 6.5% de CA (convencionales), 6.5% de CA y 1.0% de PVC (modificadas por vía húmeda) y 6.5% de CA y 2.0% de PVC (modificadas por vía seca). En las Figuras, se observa que el módulo incrementa cuando se modifica el asfalto por vía húmeda. El incremento varía dependiendo de la temperatura del ensayo:

- Para una temperatura de 10°C, el módulo incrementa entre 17 y 23% con respecto a la mezcla convencional (Figura 7).
- Para una temperatura de 20°C, el módulo incrementa entre 49 y 80% con respecto a la mezcla convencional (Figura 8).
- Para una temperatura de 30°C, el módulo de la mezcla modificada es entre 2.0 y 3.5 veces mayor que el alcanzado por la mezcla convencional (Figura 9).

Cuando la mezcla se modifica por vía seca y la temperatura del ensayo es de 10°C, se observa en la Figura 7 que el módulo disminuye alcanzando valores entre 79 y 90% del obtenido por las mezclas convencionales.

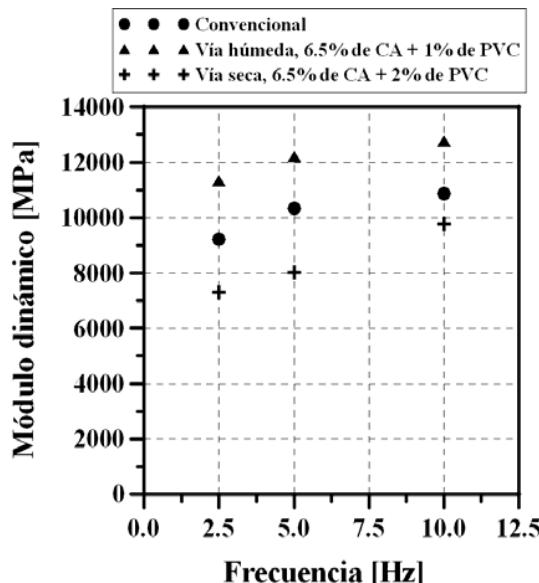


Figura 7. Evolución del módulo dinámico con la frecuencia de carga para 10°C.

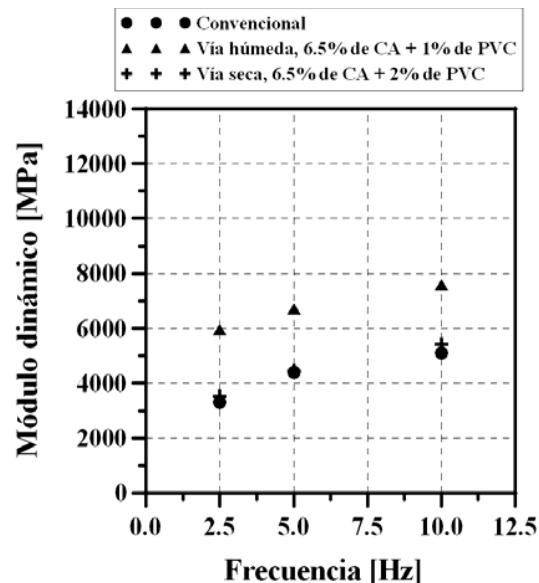


Figura 8. Evolución del módulo dinámico con la frecuencia de carga para 20°C.

Para el caso de temperaturas de ensayo de 20°C y 30°C (Figuras 8 y 9 respectivamente), el módulo de las mezclas modificadas por vía seca tienden a presentar valores similares pero ligeramente mayores a aquellos obtenidos por la mezcla convencional.

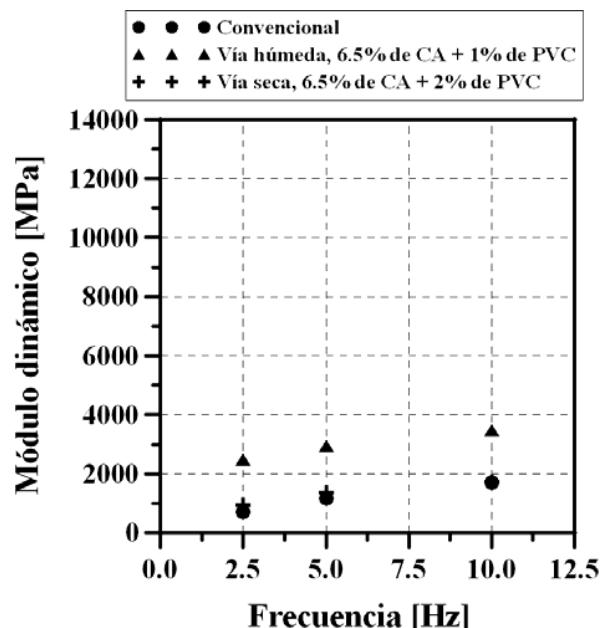


Figura 9. Evolución del módulo dinámico con la frecuencia de carga para 30°C.

La diferencia observada entre las mezclas modificadas por vía húmeda y seca en los módulos dinámicos obtenidos a 10 °C puede deberse a que por vía húmeda la adherencia entre el cemento asfáltico modificado y el agregado pétreo es mejor con respecto a la vía seca, ya que existe una mejor dispersión entre el PVC y el CA, mientras que por vía seca el enlace PVC – agregado pétreo se puede romper eventualmente. Si a lo anterior se suma que a bajas temperaturas de servicio las mezclas tienden a experimentar microfisuración térmica, dicho enlace PVC-agregado se rompe con mayor facilidad.

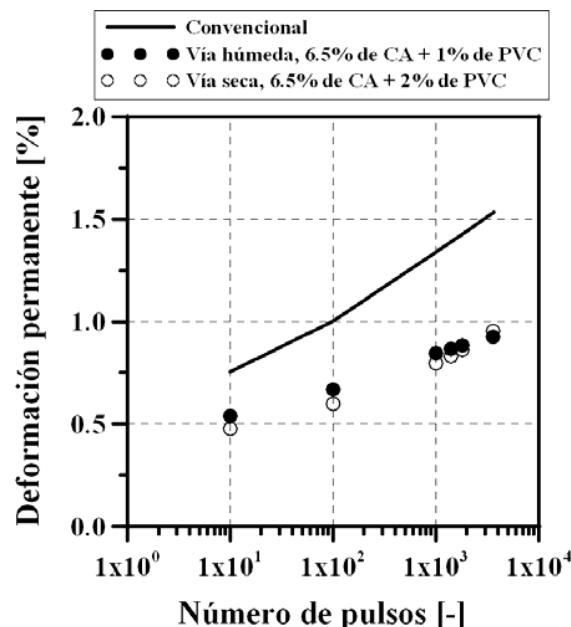


Figura 10. Evolución de la deformación permanente con el número de pulsos de carga.

En la Figura 10 se observa que la resistencia a la deformación permanente de las mezclas modificadas por vía húmeda y seca es mayor que en las muestras convencionales. A pesar que las mezclas asfálticas modificadas por vía húmeda experimentan mayor rigidez Marshall y módulo dinámico que las modificadas por vía seca, la resistencia a la deformación permanente de ambas es similar. Adicionalmente se observa que la mezcla convencional no cumple el valor máximo de deformación que se exige para el ensayo realizado, el cual es de 1.0% medido a los 3×10^3 ciclos de carga. Sin embargo, cuando se modifican por vía húmeda o seca, las mezclas cumplen con este valor máximo exigido.

Caracterización del cemento asfáltico. En la Figura 11 se observa que el asfalto modificado presenta una resistencia a la penetración superior con respecto al convencional para cualquier porcentaje de CA y PVC, y aumenta conforme se incrementa la adición de PVC al CA. La mayor resistencia a la penetración se obtiene cuando se adiciona PVC al 6.0% de CA.

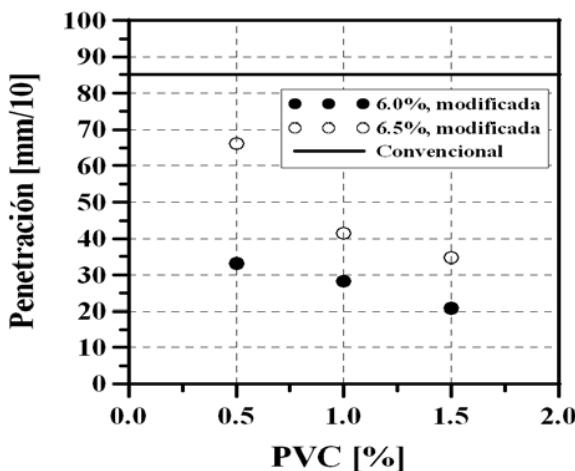


Figura 11. Evolución de la penetración con la adición de PVC al CA por vía húmeda.

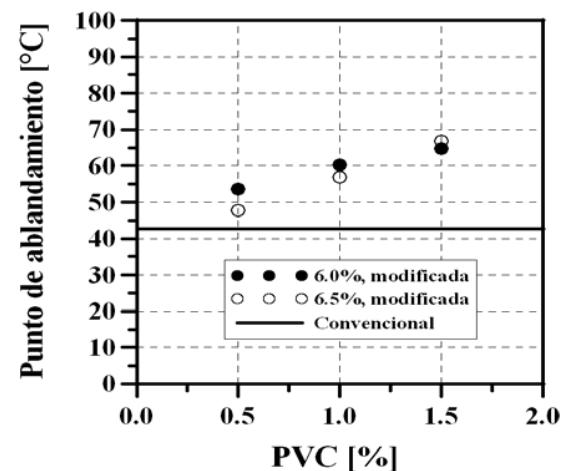


Figura 12. Evolución del punto de ablandamiento con la adición de PVC al CA por vía húmeda.

El punto de ablandamiento y la viscosidad incrementan cuando se adiciona por vía húmeda PVC al CA (Figuras 12 y 13 respectivamente). El incremento en la resistencia a la penetración, el punto de ablandamiento y la viscosidad de los asfaltos modificados con PVC permiten predecir menor ahuellamiento de las mezclas a altas temperaturas de servicio en comparación con las convencionales. Este incremento es debido principalmente a que el desecho de PVC es un polímero plastomérico que presenta una mayor rigidez que el CA.

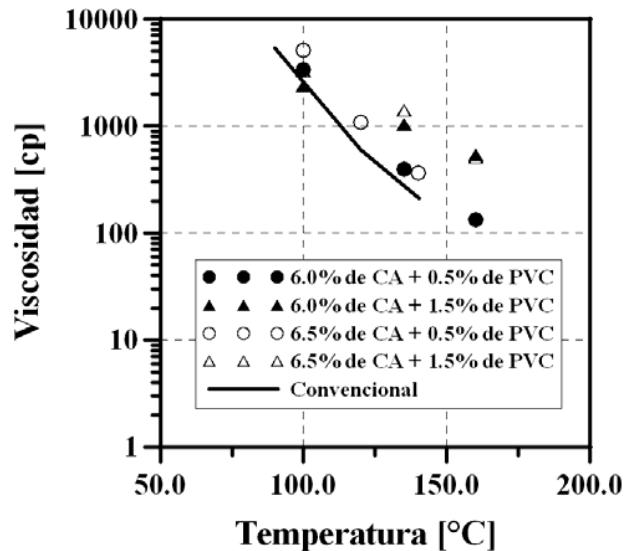


Figura 13. Evolución de la viscosidad con la temperatura y diferentes porcentajes de CA y PVC.

3. CONCLUSIONES

La mezcla asfáltica modificada con PVC de desecho presenta mayor resistencia mecánica bajo carga monotónica, rigidez y resistencia a la deformación permanente que la convencional cuando la modificación se realiza por vía húmeda. En comparación con las mezclas convencionales, por vía seca, las mezclas modificadas presentan de manera general:

- Menor resistencia mecánica bajo carga monotónica (evaluada por medio de la rigidez Marshall).
- Menor módulo dinámico cuando la temperatura del ensayo es de 10°C.
- Ligeramente mayor módulo dinámico cuando el ensayo se realiza a 20°C y 30°C.
- Mayor resistencia a la deformación permanente.

La resistencia a fluir que tienen los asfaltos modificados con PVC 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.

Con base en los resultados obtenidos mediante los ensayos de módulo dinámico sobre las mezclas, y de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad sobre los asfaltos, la mezcla asfáltica modificada a bajas temperaturas de servicio podría llegar a tener un comportamiento frágil. Por lo tanto inicialmente se recomienda su utilización en climas cálidos y realizar otras investigaciones para describir su comportamiento en clima frío.

Agregar PVC de desecho al asfalto para intentar mejorar o modificar alguna de sus propiedades, contribuiría al ambiente reduciendo el impacto negativo que produce.

En futuras investigaciones se realizarán ensayos de resistencia a fatiga y envejecimiento sobre las mezclas y los asfaltos convencionales y modificados. Adicionalmente se realizarán ensayos de reología con el fin de entender con mayor precisión el significado físico del cambio que experimentan las mezclas cuando se modifica el CA con el desecho de PVC.

REFERENCIAS

- [1] COMMITTEE EUROPEAN OF NORMALIZATION – CEN, (2000). Bituminous mixture test methods for hot mix asphalts – Part25: Cyclic compression tests.
- [2] INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA, (2001). Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá D.C., Colombia.
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS), (2007). Especificaciones generales de Construcción de carreteras. Bogotá D. C.
- [4] INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS), (2007). Normas de Ensayos de Materiales para Carreteras. V. I y II. Bogotá D.C., INVIAS.
- [5] MINISTERIO DE TRANSPORTE-OFICINA DE PLANEACIÓN, (2000). Parque Automotor de Transporte de Carga en Colombia. Bogotá D.C., Colombia.
- [6] MINISTERIO DE TRANSPORTE-OFICINA DE PLANEACIÓN, (2004). El Transporte en Cifras. Bogotá D.C., Colombia.
- [7] RONDÓN, H. A., REYES, F. A., FIGUEROA, A. S., RODRÍGUEZ, E., REAL, C. M. & MONTEALEGRE, T. A, (2008). Estado del conocimiento sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. *Revista Infraestructura Vial*, No. 19, 12-21.
- [8] RONDÓN, H. A., HERRERA O., CAICEDO L., DÍAZ D., GUTIÉRREZ A., LANDINO C. & DÍAZ F., (2004). Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con policloruro de vinilo, látex natural y caucho reciclado. *4^{as} Jornadas internacionales del asfalto*, Cartagena (Colombia). 20p.
- [9] RONDÓN, H. A. & RODRÍGUEZ, E, (2005). Evaluación del comportamiento de una mezcla asfáltica densa en caliente, tipo MDC-1, elaborada con asfalto modificado con desecho de policloruro de vinilo. *XV Simposio sobre Ingeniería de Pavimentos*. Pontificia Universidad Javeriana.

- [10] RONDÓN, H. A, RODRÍGUEZ, E. & MORENO, L. A., (2007). 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). Revista Ingenierías, Universidad de Medellín, No. 11, 91-104.