

Comportamiento de dos mezclas asfálticas venezolanas en caliente, modificadas con desecho de policloruro de vinilo

Behavior of two venezuelan hot asphalt mixtures modified with vinyl polychloride residue

Prada, Oscar^{1*}; Rondón, Hugo²; González, Gioconda¹ y Reyes, Freddy³

¹Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, ULA.

Mérida, 5101, Venezuela

²Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia

³Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

*oscarprada@ula.ve

Recibido: 15-12-2009

Revisado: 23-06-2010

Resumen

El artículo presenta los resultados experimentales de ensayar dos mezclas asfálticas densas en caliente tipo M19 y M12 (acorde con las especificaciones del Instituto Venezolano del Asfalto - INVEAS, 2004) modificadas con un desecho de policloruro de vinilo (PVC), suministrado por Mexichem Resinas S.A. (Colombia). Para la evaluación del comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales (sin aditivo) y modificadas se realizaron ensayos Marshall, módulo dinámico y deformación permanente. Las mezclas fueron elaboradas con un cemento asfáltico (CA) producido en Venezuela tipo A20 según la especificación de la Comisión Venezolana de Normas Industriales - COVENIN (2000). Para el 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. Las mezclas modificadas con desecho de PVC experimentan mayor rigidez (bajo carga monotónica y cíclica) y resistencia a la deformación permanente en comparación con las convencionales. De la misma forma, el CA modificado presenta mayor resistencia a la penetración, punto de ablandamiento, viscosidad y menor susceptibilidad térmica a fluir que el convencional.

Palabras clave: Asfaltos modificados, polímeros, policloruro de vinilo.

Abstract

Laboratory tests were used to evaluate the effect on the mechanical properties of two hot asphalt mix (M19 and M12 as per INVEAS, 2004 specifications) due to the addition by humid way of a residue of vinyl polychloride, from Mexichem Resinas S.A. (Colombia). The strength under monotonic load, resilient modulus and rutting were evaluated. Asphalt cement (AC) A20 was used from Venezuela. The results show that mechanical properties evaluated were higher for the mixtures modified with PVC compared with mixtures with asphalts without additives. Additionally, characterization tests were conducted on the asphalt cement by additive and without. The PVC produces higher penetration resistance and viscosity, and lower thermal flow susceptibility.

Key words: Modified asphalt, polymers, vinyl polychloride.

1 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 as-

falto 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 disminución de 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; (Stastna, Zanzotto y Vacin., 2000; Chen, y col., 2002; Lee et al., 2008) estados del conocimiento sobre el tema pueden ser consultados en (Papagiannakis & Loughheed, 1995; Copeland, 2007) y para el caso colombiano en (Rondón et al, 2008). Este tipo de aditivos al ser agregados al asfalto mejoran principalmente 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:

Los polímeros tipo plastómeros generan, por lo general, un incremento en la resistencia mecánica de las mezclas a altas temperaturas debido a que el asfalto se rigidiza.

Este desecho es producido en cantidades aproximadas de cinco toneladas mensuales¹ generando un impacto negativo al ambiente y no es fácil obtener un proceso productivo en el cual pueda ser reutilizado.

Este artículo presenta los resultados experimentales de ensayar dos mezclas asfálticas densas en caliente (tipo M19 y M12 utilizadas como capas de base y rodadura asfáltica respectivamente de acuerdo al Instituto Venezolano del Asfalto - INVEAS, 2004) modificadas con un desecho de policloruro de vinilo (PVC) proveniente de Mexichem Resina S.A. (Colombia). El agregado pétreo con que se trabajó fue piedra picada, arena y arcillo (polvillo), según especificaciones para mezclas tipo M12 y M19 en Venezuela, provenientes de la planta de la empresa Asfalto Andes de la ciudad de Mérida, Estado Mérida. Para la elaboración de las mezclas y la evaluación de las mismas fue modificado un cemento asfáltico (CA) fabricado en Venezuela tipo A20 (de acuerdo a la norma COVENIN, 2000) proveniente de la Refinería Boscán en el estado Zulia (Venezuela). Este tipo de cemento fue escogido debido a que en otra investigación (Rondón, Reyes y Ojeda, 2008) se modificaron las mezclas utilizando el mismo desecho de PVC, pero con uno menos rígido. 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 y para el CA con y sin aditivo se realizaron ensayos de penetración, punto de ablandamiento e inflamación, viscosidad y ductilidad. Con el fin de evaluar

el comportamiento de las mezclas bajo carga cíclica se realizaron ensayos de módulo dinámico y deformación permanente medida en la dirección vertical. Los resultados son producto de un proyecto interinstitucional conformado por tres grupos de investigación.

2 Metodología

El agregado pétreo empleado para la elaboración de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas con desecho de PVC fue suministrado por la empresa Asfalto Andes de la ciudad de Mérida (Venezuela). En la tabla 1 se presentan las características del agregado pétreo, determinadas siguiendo las especificaciones del Instituto Venezolano del Asfalto (INVEAS, 2004). Para cumplir con las especificaciones del (INVEAS 12-10 2004), se modificó la granulometría original de los agregados, tomando como referencia los valores promedios en porcentajes de la franja granulométrica que exige la especificación para la elaboración de las briquetas del ensayo Marshall tabla 2.

El porcentaje de caras fracturadas cumple con lo especificado en la norma (INVEAS 12-10 2004) para tránsito alto y capa de rodadura cuyo valor debe ser >80%. Igualmente, el índice de alargamiento y de aplanamiento de los agregados cumple con los requisitos de la misma especificación para un número de ejes equivalentes (ESALs) >100 millones, donde su límite máximo es de 10% (Instituto del Asfalto, 2000). La resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles, de 44,9% no está cumpliendo con la norma (INVEAS 12-10 2004) para tránsito alto, puesto que según dicha norma, el desgaste de los materiales pétreos no debe exceder el 40% para capa de rodadura, pero cumple para tránsito medio o para otras capas en tránsito alto en las cuales el desgaste puede llegar hasta 45%.

El CA utilizado proviene de la planta de la Empresa Venezolana Asfalto Andes, la cual se provee de la Refinería Boscán en el estado Zulia Venezuela. Las características del CA que se presentan en la tabla 3, son generadas por Petróleos de Venezuela S.A. PDVSA y están basadas en las especificaciones (COVENIN 2000).

Tabla 1. Características del agregado pétreo

Característica	Valor	Especificación
Peso específico Bulk	2,62	COVENIN 0268-98
Caras fracturadas	97,0%	COVENIN 1124-98
Partículas planas y alargadas	7,72%	ASTM D-4791
Desgaste máquina Los Ángeles	44,90%	COVENIN 266-97
Absorción piedra picada	1,27	COVENIN 0269-98
Absorción arena	1,11	COVENIN 0268-98
Absorción polvillo	1,59	

¹ Riveros, Mauricio. Gerente de mercadeo, Empresa TUBRICA S.A. de Venezuela. www.tubrica.com.ve

Tabla 2. Granulometría M19 y M12

Malla (Tamiz)		Porcentaje que pasa	
		Tipo de mezcla	
mm	pulg.	M19	M12
37,5	1,5	-	-
25,4	1	100	
19,1	3/4	90-100	100
12,5	1/2	<90	90-100
9,5	3/8	56-80	<90
4,75	#4	35-65	44-74
2,36	#8	23-49	28-58
0,3	#50	5-19	5-21
0,075	#200	1-8	2-10

Tabla 3. Características generales del asfalto

Propiedad	Unidad	Covenin 2000:1987		Valor
		mín.	máx.	
Penetración a 25°C, 100gr, 5 s	mm/10	60	70	61
Viscosidad absoluta a 60°C	cp	2000		3019
Viscosidad cinemática a 135°C	cSt	300		502,1
Punto de ablandamiento	°C	48	58	50,3
Punto de inflamación	°C	232		315
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	100		150
Peso específico a 25°C	-	indicar		1,02479
Solubilidad en tricloroetileno	% v/v	99		
Índice de penetración	-	-1,5	0,5	-0,58
Envejecimiento TFOT				
Pérdida de masa	%		0,5	-0,1731
Viscosidad después de TFOT	p		13000	6074
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	20		98
Reducción de penetración	%		50	34

Luego de realizar los ensayos al agregado pétreo, se fabricaron cinco briquetas (compactadas a 75 golpes por cara) para cada porcentaje de asfalto entre 4,0 y 6,0%, con el fin de realizar el diseño Marshall para determinar el contenido óptimo de asfalto de las mezclas conven-

cionales (el diseño se realizó basado en los criterios establecidos por (INVEAS, 2004) y el Instituto Nacional de Vías – (INVIAS, 2007). Una vez que 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, 1,5, 2,0 y 2,5 (con respecto al peso total de la briqueta de 1.200 g), manteniendo el porcentaje de CA óptimo obtenido con el ensayo Marshall, es decir: CA óptimo con 0,5% PVC, CA óptimo con 1% PVC, y así sucesivamente. Por cada porcentaje de aditivo se fabricaron cinco briquetas para ensayarlas en el aparato Marshall, para un total de 25 briquetas con CA óptimo modificado con diferentes porcentajes de PVC. Además se realizó el mismo estudio rebajando el porcentaje óptimo de CA en 0,5%.

Con los resultados del ensayo Marshall de las mezclas modificadas se obtuvieron los porcentajes óptimos de CA y aditivo para la realización de los ensayos de módulo resiliente y deformación permanente de mezclas asfálticas

El ensayo de módulo resiliente INV. E-749, (INVIAS, 2007) se realizó empleando tres temperaturas (10, 20 y 30°C) y frecuencias de carga diferentes (2,5, 5,0 y 10,0 Hz). El ensayo de resistencia a la deformación permanente bajo carga repetida fue realizado bajo un esfuerzo de 100 kPa y a 3.600 ciclos de carga siguiendo el procedimiento especificado por el Comité Europeo de Normalización - CEN (2000, EN 12697-22). 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 (COVENIN, 2000; INVIAS 2007a).

El desecho de PVC proviene de la empresa Mexichem – Resinas Colombia S.A., presenta una densidad de 0,9 g/cm³ y partículas de coloración blanca que pasan por 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 utilizando un instrumental básico (termómetro tubular de vidrio y recipiente metálico). 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 (Prada, 2009).

3 Resultados y análisis

Ensayo Marshall: se presentan en primera instancia los resultados de las briquetas elaboradas con el CA convencional, seguido de las muestras con CA modificado.

Mezcla asfáltica convencional: los cálculos obtenidos del ensayo Marshall para las mezclas tipo M19 y M12 están registrados en las Tablas 4 y 5, respectivamente.

Tabla 4. Resumen ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional M19

CA [%]	Peso espec. g/cm ³	Estabilidad (E) [kg]	Vacíos mezcla [%]	Vacíos agregado [%]	Flujo (F) mm	Rigidez E/F kg/mm
4,0	2,27	934,80	8,10	16,88	2,29	408,92
4,5	2,27	1263,12	7,27	17,17	2,54	497,29
5,0	2,31	1303,70	4,93	16,13	2,79	466,61
5,5	2,31	1221,62	4,17	16,49	3,56	343,54
6,0	2,34	1151,86	2,33	15,94	3,30	348,84

Tabla 5. Resumen ensayo Marshall para mezcla asfáltica convencional M12

CA %	Peso espec. g/cm ³	Estabilidad (E) [kg]	Vacíos mezcla [%]	Vacíos agregados [%]	Flujo (F) mm	Rigidez E/F kg/mm
4,0	2,29	899,69	7,30	16,17	2,79	322,01
4,5	2,30	959,42	6,00	16,04	3,05	314,77
5,0	2,32	1094,40	4,51	15,76	3,30	331,44
5,5	2,32	1127,23	3,91	16,28	3,56	316,99
6,0	2,34	1104,89	2,34	15,96	3,81	290,00

El porcentaje óptimo de CA de acuerdo con los datos de las tablas 4 y 5 es de 5,5% para ambos tipos de mezcla (M19 y M12). Con este porcentaje óptimo se compararon y verificaron los valores obtenidos, con los de la norma, para comprobar si están cumpliendo los requisitos mínimos exigidos por la especificación (INVEAS, 2004), confirmando que indudablemente si cumplen.

Mezclas asfálticas modificadas: los datos de resistencia mecánica obtenidos en el ensayo Marshall para las mezclas asfálticas modificadas fueron registrados en las tablas 6 y 7 para M19 y M12, respectivamente. Estos datos son presentados de manera gráfica en las Figs. 1 y 2.

Tabla 6. Resumen del ensayo Marshall para mezcla asfáltica M19 modificada con diferentes porcentajes de CA

PVC [%]	Estabilidad (E) [kg]		Flujo (F) [mm]		Rigidez E/F [kg/mm]	
	5,0	5,5	5,0	5,5	5,0	5,5
0,5	1165,0	1123,6	2,96	2,71	393,04	414,6
1,0	1269,3	1218,6	2,79	2,96	454,32	411,1
1,5	1347,8	1912,7	3,13	2,96	430,36	645,2
2,0	1203,6	1791,0	3,30	3,39	364,52	528,9
2,5	1286,7	1804,0	3,39	3,47	380,05	519,5

Tabla 7. Resumen del ensayo Marshall para mezcla asfáltica M12 modificada

PVC [%]	Estabilidad (E) [kg]		Flujo (F) [mm]		Rigidez E/F [kg/mm]	
	5,0	5,5	5,0	5,5	5,0	5,5
0,5	1077,24	1274,08	2,88	2,79	374,32	456,00
1,0	1107,28	1338,94	3,13	2,62	353,56	510,30
1,5	1130,93	1395,62	3,22	3,22	351,42	433,67
2,0	1233,39	1428,66	3,05	3,47	404,66	411,46
2,5	1715,23	1567,60	2,88	3,56	596,02	440,83

En las figuras 1a y 2a se observa que los valores de estabilidad (E) y relación entre la estabilidad y el flujo (F) (E/F, denominada por algunos investigadores como rigidez Marshall y la cual 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 M19 son mayores, para cualquier porcentaje de CA y desecho de PVC, en comparación con la mezcla convencional. Esta misma tendencia se observa en los valores de E/F de la mezcla modificada M12 (figura 2b). Sin embargo, para el caso de la estabilidad en este tipo de mezcla, el incremento sólo se observa cuando se modifica el porcentaje óptimo de CA (5,5%) o cuando se adiciona desecho de PVC, al 5,0% de CA, en un contenido superior al 2,0% (figura 1b). Para el caso de las mezclas modificadas M19, los mayores valores de estabilidad y E/F se obtienen cuando se adiciona 1,5% de desecho de PVC al porcentaje óptimo de CA de 5,5%. En este contenido de CA y aditivo, el incremento en la estabilidad y E/F es de 70% y 104% respectivamente, comparados con aquellos valores que experimentó la mezcla M19 sin modificar (convencional). La tendencia general, para los contenidos de CA utilizados, es incrementar E y E/F cuando se adiciona PVC entre 0,5 – 1,5%. Adiciones superiores del aditivo comienzan a disminuir estos parámetros mecánicos debido principalmente a que el PVC en estas proporciones disminuye la capacidad que tiene el CA de adherirse con el agregado pétreo Figs. 1a y 2a (Prada, 2009).

Los valores de E/F obtenidos para las mezclas modificadas M12 que utilizaron el contenido óptimo de CA de 5,5%, presentan una tendencia similar a aquella que experimentó la mezcla modificada M19, alcanzando el mayor incremento en esta propiedad (49%) cuando se adicionó 1,0% de PVC (figura 2b).

Para este tipo de mezcla el mayor incremento en la resistencia bajo carga monotónica (73%) se obtiene cuando se disminuye el porcentaje óptimo de CA en un 0,5% (5,0%) y se adiciona 2,5% de aditivo.

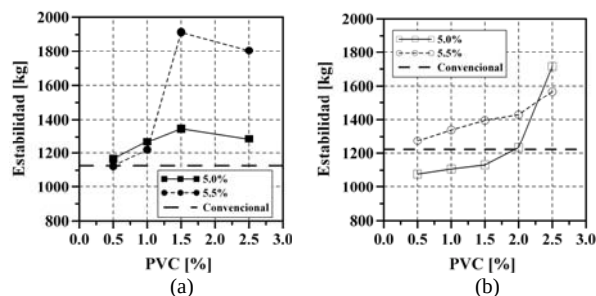


Fig. 1. Estabilidad vs. porcentaje de PVC variando el porcentaje de CA (a) M19 (b) M12

Comportamientos similares han sido obtenidos modificando otros tipos de CA y mezclas asfálticas con este aditivo polimérico del tipo plastómero (Rondón et al, 2004; Rondón, Rodríguez y Moreno, 2007; Rondón, Reyes y Ojeda, 2008; Toro y Amortegui, 2008).

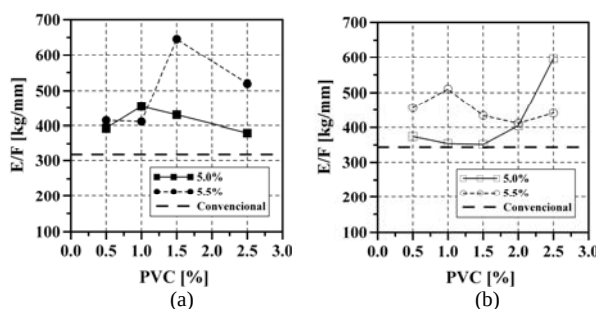


Fig. 2. Relación E/F vs. porcentaje de PVC variando el porcentaje de CA (a) M19 (b) M12

Módulo resiliente y deformación permanente. Para realizar estos ensayos se fabricaron muestras cuyo porcentaje de CA + PVC fue de 5,0% + 1,0% y 5,5% + 0,5% para mezclas M19 y M12 respectivamente. La determinación de estos porcentajes se basó en los resultados obtenidos del ensayo Marshall, la correlación de estos resultados con los requisitos mínimos de calidad que exige la especificación (INVEAS, 2004) y aspectos económicos. Una descripción detallada de la forma como fueron determinados estos porcentajes puede ser consultado en (Prada, 2009). En la figura 3 y la tabla 8 se presenta la evolución del módulo resiliente y la deformación permanente en la dirección vertical de las mezclas asfálticas modificadas. Se observa un incremento típico del módulo cuando se aumenta la frecuencia de carga y disminuye la temperatura del ensayo.

La rigidez de las mezclas bajo carga cíclica incrementa, y por lo tanto la resistencia a la deformación permanente, cuando se adiciona el desecho de PVC al CA. Para el caso de temperatura de ensayo de 10°C el módulo de las mezclas modificadas M19 incrementa entre un 9,0 – 13,4% con respecto a la mezcla convencio-

nal. Para temperatura de 20 y 30°C estos incrementos son de 12,4 – 20,9% y 24,8 – 37,0% respectivamente. Las mezclas modificadas M12 experimentaron en 10, 20 y 30°C incrementos en la rigidez entre 25,5 – 31,5%, 18,7 – 30,4% y 25,2 – 30% respectivamente. La deformación permanente de las mezclas convencionales M19 y M12 disminuyó en 28 y 17%, respectivamente, cuando se modificaron con PVC. Adicionalmente, se observa que las mezclas convencionales M19 y M12 no cumplen con el valor máximo de deformación que se exige para el ensayo realizado, el cual es de 1,0% medido a 3x10³ ciclos de carga. Sin embargo, cuando se modifica la mezcla M19 con PVC el valor se encuentra por debajo del máximo permitido, y para el caso de la mezcla M12, está muy cercano al mismo.

Este aumento en rigidez y resistencia a la deformación permanente se debe a que con la incorporación del PVC al CA se obtiene un material más rígido y viscoso tal como se observa en la sección siguiente:

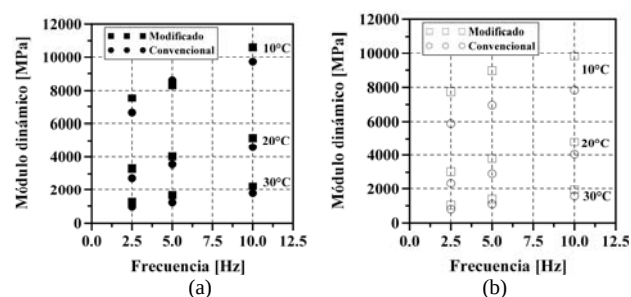


Fig. 3. Módulo dinámico (a) M19 (b) M12 A diferentes temperaturas del asfalto modificado y convencional

Tabla 8. Evolución de la deformación permanente vertical

Tipo de mezcla	M19		M12	
	Conven.	Modific.	Conven.	Modific.
Deformación permanente [%]	1,065	0,769	1,463	1,218

Caracterización del asfalto. En la tabla 9 se presenta el cambio que experimentó el CA cuando se adicionó desecho de PVC por vía húmeda. Se observa de manera general que la consistencia de los asfaltos modificados es más rígida a medida que se adiciona desecho de PVC al CA. Lo anterior se evidencia a partir de la disminución de los valores de penetración y ductilidad y al aumento en la viscosidad, punto de ablandamiento y de inflamación. Para entender con mayor precisión los cambios que ocurren en las propiedades físicas de los CA modificados es necesario evaluar la composición química de los mismos, debido a la aparición de nuevas estructuras y enlaces que pueden afectar la reología.

Tabla 9. Características del CA modificado.



4 Conclusiones

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.

Los valores de estabilidad y rigidez Marshall de las mezclas modificadas tienden a ser mayores, para cualquier porcentaje de CA, en comparación con la mezcla convencional. Los mayores valores de estabilidad y rigidez bajo carga monotónica se obtienen cuando se modifican con PVC las mezclas M19.

Las mezclas asfálticas modificadas con desecho de PVC, experimentan un incremento notable en la resistencia mecánica bajo carga monotónica en comparación con las mezclas convencionales (ver figs. 1-2).

Los módulos dinámicos de las mezclas modificadas con PVC son superiores a aquellos alcanzados por las convencionales, y los mayores incrementos se obtienen cuando la temperatura del ensayo aumenta. 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 de 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.

Referencias

- COVENIN – Comisión Venezolana de Normas Industriales, 2000, Norma venezolana sector construcción, Fondo-norma.
- Copeland A, Youtcheff Jr & Shenoy A 2007, Moisture Sensitivity of Modified Asphalt Binders: Factors Influencing Bond Strength. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Issue number 1998, pp. 18-28.
- Chen J, Liao M and Shiah M, 2002, Asphalt modified by Styrene-Butadiene-Styrene triblock copolymer: morphology and model. *Journal of Material in Civil Engineering*, Vol. 14, Issue 3. pp. 57.
- Instituto del asfalto 2000, Diseño de mezclas para el pavimento de desempeño superior, Serie No. 2 de Superpave. Instituto del Asfalto, Lexington, Ky.p.1157
- INVEAS - Instituto Venezolano del Asfalto, 2004, Norma 12-10, versión revisada, p. 18.
- INVIAS – Instituto Nacional de Vías, 2007, Especificaciones generales de Construcción de carreteras. Bogotá D.C (Colombia).
- INVIAS – Instituto Nacional de Vías, 2007a, Normas de Ensayos de Materiales para Carreteras Vol. I y II. Bogotá D.C (Colombia).
- Lee S, Amirkhanian S, Shatanawi K and Thodesen, C, 2008, Influence of compaction temperature on rubberized asphalt mixes and binders. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 35, No. 9, pp. 908–917
- Prada O, 2009, Estudio del comportamiento de mezclas densas en caliente elaboradas con un asfalto Venezolano, modificado con policloruro de vinilo molido, Tesis de Magíster en Ingeniería Vial, Universidad de Los Andes, Mérida Venezuela.
- Papagiannakis A and Loughheed T, 1995, 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.
- Rondón H, Herrera O, Caicedo L, Díaz D, Gutiérrez A, Ladino C y Díaz F 2004, 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, pp. 17-22.
- Rondón H, Rodríguez E y Moreno L 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 Ingeniería Universidad de Medellín*, No. 11, pp.91-104.
- Rondón H, Reyes F y Ojeda, B, 2008, Comportamiento de una mezcla densa en caliente modificada con desecho de policloruro de vinilo (PVC). *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Vol. 18, No. 2, pp. 29-44.
- Stastna J, Zanzotto L and Vacin O, 2000, Damping of shear vibrations in asphalt modified with styrene-butadiene-styrene polymer. *Transportation research record*, Annual Meeting of the Transportation Research Board, No. 1728, pp. 15-20.
- Toro E & Amortegui M, 2008, Influencia del tipo de asfalto en el comportamiento de un concreto asfáltico modificado con desecho de PVC. Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia, 79 pp.