

IAG124-01-2013
ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA SUSCEPTIBILIDAD AL DAÑO
POR HUMEDAD UTILIZANDO EL ENSAYO TSR Y EL ENSAYO MIST
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE SUSCEPTIBILIDADE A UMIDADE
DANO USANDO E TESTE TESTE TSR MIST

Ana Sofia Figueroa Infante
Universidad de la Salle
Bogotá, Colombia
afigueroa@unisalle.edu.co

Camila Eugenia Núñez Galeano
Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia
camilanuga@gmail.com

Carlos Andrés Cubillos Estrella
Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia
cubillos.carlos@javeriana.edu.co

Fredy Alberto Reyes Lizcano
Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia
Fredy.reyes@javeriana.edu.co

Resumen

En esta investigación se presentan los resultados obtenidos para el análisis de la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica para rodadura, diseñada por la metodología SUPERPAVE. La caracterización de los materiales utilizados incluye el análisis reológico, químico, mecánico y de desempeño (ahuellamiento).

Teniendo en cuenta que la susceptibilidad al daño por humedad generalmente se determina con el ensayo TSR, el cual considera un acondicionamiento básico por temperatura y humedad, en este estudio realizamos el ensayo MIST, que además del efecto del agua y la temperatura involucra la presión que ejercen los vehículos en los poros de la mezcla y que podrían causar algún tipo de desprendimientos (stripping). Para el análisis se trabajó con un asfalto original de penetración 80-100 y para asfaltos acondicionados durante diferentes periodos de inmersión, denotados: : S0, S3, S6, S9, S12, S15, S18 Y S21, en donde “S” significa sumergido y el número que le sigue, indica los meses de inmersión.

Los resultados permiten establecer la diferencia de los dos ensayos para determinar la susceptibilidad al daño por humedad, su relación con el desempeño de la mezcla y establece un camino de discusión sobre la diferencia entre ellos.

RESUMO

Nesta investigação apresentam-se os resultados obtidos para a análise da susceptibilidade ao dano por humidade de uma mistura asfáltica para rodadura, desenhada pela metodologia SUPERPAVE. A caracterização dos materiais utilizados inclui a análise reológico, químico, mecânico e de desempenho (ahuellamiento). Tendo em conta que a susceptibilidade ao dano por humidade geralmente se determina com o ensaio TSR, o qual considera um acondicionamiento básico por temperatura e humidade, neste estudo realizamos o ensaio MIST, que além do efeito do água e a temperatura envolve a pressão que exercem os veículos nos poros da mistura e que poderiam causar algum tipo de desprendimientos "stripping". Para a análise trabalhou-se com um asfalto original de penetração 80-100 e para asfaltos acondicionados durante diferentes períodos de imersão, denotados: : S0, S3, S6, S9, S12, S15, S18 E S21, em onde “S” significa submergido e o número que lhe segue, indica nos meses de imersão. Os resultados permitem estabelecer a diferença dos dois ensaios para determinar a susceptibilidade ao dano por humidade, sua relação com o desempenho da mistura e estabelece um caminho de discussão sobre a diferença entre eles.

INTRODUCCION

El estudio de la susceptibilidad al daño por humedad “*Moisture Damage*” es uno de los más analizados a nivel mundial debido al daño e impacto económico que tiene en los pavimentos.

La mayoría de los países que tienen problemas en sus carreteras por presencia de agua han tomado medidas para mitigarlo, que van desde el control en los procesos constructivos hasta la aplicación de agentes antistripping. Sin embargo, no siempre los resultados han sido favorables y se ha discutido en diversos espacios, cuál debe ser la solución definitiva para vitar los daños generados por humedad.

El problema no es fácil de abordar, porque en este modo de daño se involucran diversas variables: agregados, asfalto, mastic, vacíos, adhesión y cohesión, que además se pueden clasificar de acuerdo con el momento en que intervienen y se controlan en la mezcla asfáltica, es decir, durante la etapa del diseño, durante la fabricación y colocación y durante la etapa de servicio.

En esta investigación se hace énfasis sobre los ensayos típicos que permiten evaluar el daño por humedad en la metodología SUPERPAVE, el ensayo TSR (Tensile Strenght Ratio) y recientemente el MIST(Moisture Induced Sensituivity Test).

El ensayo TSR después de diversos estudios como el desarrollado por Kennedy et al, 1984, está normalizado y se ha tomado como referencia y control en diferentes países. Este ensayo se realiza con el propósito de medir el efecto del agua en la mezcla asfáltica a través de la medición de la tracción indirecta y es aplicable a las mezclas densas elaboradas con o sin aditivo adhesivo (antistripping), incluidos líquidos y sólidos pulverulentos, tales como cal hidratada o cemento Pórtland, norma INVE-725.

En cuanto al ensayo MIST, éste fue diseñado para que en menos de tres (3) horas de acondicionamiento se simule el daño por *stripping*. En el ensayo se controla la temperatura y se genera una presión de poros en la mezcla, simulando las condiciones de campo en cuanto a temperatura, tráfico y la humedad. La medición final del mismo es igual que en el ensayo TSR, cuantificar porcentualmente la pérdida de resistencia a la tracción indirecta.

En este estudio se analiza una mezcla densa para rodadura fabricada con diferentes tipos de asfalto que fueron sometidos a un proceso de oxidación con agua y monitoreados trimestralmente: S0, S3,S6, S9,S12,S15,S18 y S21. Se analizan los resultados del ensayo de ahuellamiento como control de desempeño de la mezcla asfáltica y su relación con los ensayos de TSR y MIST.

ANTECEDENTES

El desempeño de una mezcla asfáltica en caliente (HMA) se ve afectado por la presencia del agua ó vapor de agua al interior de la misma, esto se conoce como daño por humedad; desde los años 30s se ha investigado el fenómeno, encontrando que una de sus manifestaciones es el stripping o más conocido como el desprendimiento del agregado pétreo del ligante asfáltico, Lottman,1971. El *stripping* se puede definir como la pérdida de adherencia entre la película de asfalto y la superficie del agregado en la mezcla asfáltica, debido a la acción del agua, la cual rompe la unión adhesiva entre ambos y ocasiona pérdida de funcionalidad de la vía, Figueroa et al, 2013. El agua también puede afectar el cemento asfáltico por interacción química y/o físicamente resultando en una reducción de la cohesión, lo que podría conducir a una severa reducción en la integridad y la resistencia de la mezcla, Kanitpong, 2005.

Los mecanismos involucrados en el fenómeno de *stripping* se define como: desplazamiento, desprendimiento, emulsificación espontanea y presión de poros. La socavación mecánica, que se producen como consecuencia del aumento de presión en los poros por la carga de tráfico, también es un importante contribuyente para el *stripping*. El desplazamiento, se define como la penetración de agua en la superficie de los agregados a través de una ruptura en la película de asfalto. La separación es el desprendimiento de la película de asfalto del agregado sin una ruptura en la superficie del ligante asfáltico. La emulsificación espontánea ocurre cuando el agua y el asfalto se combinan para formar una emulsión invertida, cuando ocurre esto la emulsión penetra en el sustrato y la unión adhesiva se rompe, Solaimanian et al, 2003. El agua atrapada dentro de los vacíos de aire de la mezcla puede causar alta presión en los poros cuando se expone a la carga de tráfico. Lottman realizó el protocolo de laboratorio de prueba que presentó en 1978, el cual fue un gran avance en el procedimiento de un ensayo coherente para predecir el daño por humedad inducido en la mezcla asfáltica. El protocolo presentado por Lottman fue posteriormente modificado por Tunnichliff, 1984, y estandarizado como AASHTO T283 o ensayo de tracción indirecta en mezclas asfálticas.

La búsqueda de nuevos procedimientos de ensayo confiables para la determinación de la sensibilidad al daño por humedad condujo al Western Research Institute (WRI) a desarrollar una investigación en profundidad sobre la química de asfalto y su relación con el daño de la humedad.

En el año 2005 el Departamento del Transporte de Mississippi (MDOT) realizó la investigación Laboratory Accelerated Stripping Simulator for Hot Mix Asphalt, dirigida por Buchanan et al,

2005, el estudio consistió en la evaluación de HMA de gradación gruesa utilizando metodología Superpave, tres condiciones de antistripping fueron evaluadas: ninguno, cal hidratada y cal hidratada, más un agente antistripping líquido. Dos ligantes asfálticos se evaluaron: PG 67-22 (asfalto puro) y PG 76-22 (polímero asfalto modificado). Con el compactador giratorio Superpave, las muestras de HMA se compactaron a una altura de 95 mm a 7 por ciento de vacíos de aire. Posteriormente, las muestras se acondicionaron en el dispositivo MIST. Al completar el acondicionamiento de las muestras, se determinó la resistencia a la tracción y se compararon con la resistencia a la tracción de las muestras secas determinando la "Resistencia de mezclas de pavimentación bituminosas a Stripping - método de vacío de saturación" (MT-63). Las mediciones de turbidez y el pH se hicieron también del agua antes, durante y después de la prueba para las muestras. Además, las mezclas se ensayaron usando el ensayo de ebullición (MT-59) para comparar los resultados obtenidos a partir del MIST.

Una de las conclusiones de la investigación fue *“El equipo MIST muestra potencial para medir el stripping de HMA. Los datos obtenidos de la relación de cambio en la turbidez indican claramente que alguna forma de stripping se está produciendo durante la prueba. Una investigación adicional para el MIST se debe realizar para determinar los parámetros de prueba. Sin embargo, antes de seguir investigando se debe continuar con varias modificaciones al MIST para mejorar su funcionamiento y la capacidad de evaluación de stripping”*.

Buchanan et al, 2005, indicaron que el equipo MIST fue desarrollado para proporcionar un método racional para la evaluación de la susceptibilidad a la humedad en HMA.

En los últimos diez años se ha trabajado en el ensayo MIST desde los Departamentos de Transporte de diferentes estados en los Estados Unidos y en algunos proyectos específicos.

Chen et al, 2008, evaluaron el daño por humedad en mezclas asfálticas en caliente, utilizando el ensayo de desempeño simple (SPT) y el ensayo de tracción indirecta (IDT), las mezclas fueron realizadas con ligante asfáltico (PG 64-22) con y sin aditivo antistripping basado en amina (ASA). Las muestras se acondicionaron por cuatro métodos diferentes: (1) un ciclo de congelación-descongelación (FT). (2) dos ciclos de congelación-descongelación (FT). (3) 500 ciclos de presión de poros con el (MIST). (4) 1000 ciclos de presión de poros con el (MIST).

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología

El diseño de la investigación se realizó a partir de la comparación de una mezcla asfáltica densa en caliente fabricada con asfalto proveniente de refinería 80-100 por metodología SUPERPAVE, cuyo PG máximo fue 58°C y la temperatura de fatiga 19°C. El asfalto no se clasificó por bajas temperaturas debido a que este no es un problema en los países tropicales. La mezcla fabricada con este tipo de asfalto se llamó mezcla original y la susceptibilidad a la humedad y ahuecamiento se comparó con la mezcla fabricada con cada tipo de asfalto: S0, S3, S6, S9, S12, S15, S18 Y S21. Como control del daño por humedad se realizaron los ensayos de TSR, MIST, el análisis del módulo dinámico se midió en el procedimiento de ensayo, INVE 754-2007.

Resultados y Análisis

El agregado pétreo utilizado en la investigación es de origen metamórfico aluvial y su caracterización se presenta en la Tabla 1.

Agregados Pétreos

Tabla 1: Caracterización de agregados pétreos

Características	Unidad	NORMA	Normas Internacionales de Referencia	Límite mínimo	Límite máximo	Grava Triturada	Material Fino	Número de Muestras	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
Resistencia al Desgaste de Agregados <37.5 mm por medio de la Máquina de Los Ángeles	%	INV E-218	ASTM C 131 – 01 AASHTO T 96 – 02 UNE EN 1097 – 2: 1998		35%	28,59%	N/A	3	28,59%	0,62%	0,02
Desgaste por Abrasión utilizando el Aparato MicroDeval	%	INV E-238	AASHTO T327 – 05 ASTM D6928 – 03 UNE EN 1097 – 1	mezcla MDC-1 20% (rodadura)	20% (rodadura)	10,38%	N/A	3	10,38%	0,26%	0,03
Ensayo de solidez agregados gruesos						1,00%	-	5	-	-	-
Ensayo de solidez de agregados finos	%	INV E-220	DNER-ME 096 – 98 BS 812 Part 110 – 1990		18%	-	4,10%	4	-	-	-
Valor de Azul de Metileno en Agregados Finos y Llenantes Minerales	%	INV E-235	AASHTO TP 57-01 (2004)	-	10%	N/A	4,83%	3	0,48%	0,14%	0,30
Índice de Alargamiento (IL)	%					6,92%	N/A	3	6,92%	0,99%	0,14
Índice de Aplanamiento (IA)	%					21,09%	N/A	3	21,09%	0,69%	0,03
Índice de alargamiento y aplanamiento (IAL)	%	INV E-230	UNE EN 933-3 1997 NLT 354- 91	-	30%	2,54%	N/A	3	2,54%	0,46%	0,18
Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados	%	INV E-227	ASTM D 5821 – 01	75%	-	87,68%	N/A	3	87,68%	0,02%	0,00
Partículas aplanadas	%					0,00%	-	3	-	-	-
Partículas alargadas y aplanadas	%	INV E-240	ASTM D 4791 – 99	-	10%	0,25%	-	3	0,10%	0,13%	1,33
Equivalente de Arena Suelos y Agregados finos	%	INV E-133	ASTM D 2419 – 95 AASHTO T 176 – 02	50%		-	58,00%	3	49,00%	9,64%	0,20
Gravedad Específica Bulk						2,60	2,38	3	2,60%	0,02%	0,01
Gravedad Específica Bulk sss			ASTM C 127 – 88 (Reprobada en el 2001)			2,63	2,42	3	2,63%	0,02%	0,01
Gravedad Específica Bulk aparente						2,69	2,69	3	2,69%	0,04%	0,01
Absorción de Agregados Gruesos	%		AASHTO T 85 – 91 (2004)			1,25%	1,97%	3	1,25%	0,31%	0,25

Asfaltos

El asfalto utilizado es proveniente de refinería cuya clasificación por penetración es de 80-100 y la evaluación de sus propiedades se presenta a continuación, (Tabla 2).

Tabla 2: Caracterización del asfalto

Características	Unidad	Norma Colombiana	Normas Internacionales de Referencia	Límites por Norma		Asfalto Original				
				Mínimo	Máximo	Número de Muestras	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	
Penetración 25°C	0.1 mm	INVE-706	ASTM D 5 – 97 AASHTO T 49 – 03 NLT 124 / 84	80	100	18	83,22	1,11	1,34%	
Punto de Ablandamiento	° C	INVE-712	ASTM D 36 – 95 (2000) AASHTO T 53 – 96 (2004) NLT 125 – 84	No Exige para este ensayo. SUGERIO 49°C SEGÚN NORMA IDU 05		12	50,55	0,51	1,01%	
Índice de Penetración	-	INVE-724	UNE EN 12591 – 1999 NLT 181/88	-1	1	-	0,26	-	-	
Ductilidad de Materiales Asfálticos	cm	INVE-702	ASTM D 113 AASHTO T 51 NLT 126	100	-	6	145	6	4,46%	
Punto de llama (Copa Abierta Cleveland)	° C	INVE-709-07	AASHTO T 48 – 04 ASTM D 92 – 02b			3	319,4	2,8	0,87%	
Punto de ignición (Copa Abierta Cleveland)	° C					3	358,3	2,8	0,78%	
Gravedad Específica de Materiales Asfálticos (Método del Picnómetro)	-	INVE-707	ASTM D 70 – 03 AASHTO T 228 – 04 NLT 122	-		3	1,007	0,002	0,22%	
Viscosidad Rotacional de Asfaltos usando el Aparato Brookfield 135 °C	Pa * s	INVE-717	AASHTO T 316 – 04		-	-	-	-	-	
Pérdida de Masa por Calentamiento en Película Delgada	%	0	ASTM D 2872 – 97 AASHTO T 240 – 03	-	1	-	N/A	-	-	

Diseño de la mezcla asfáltica

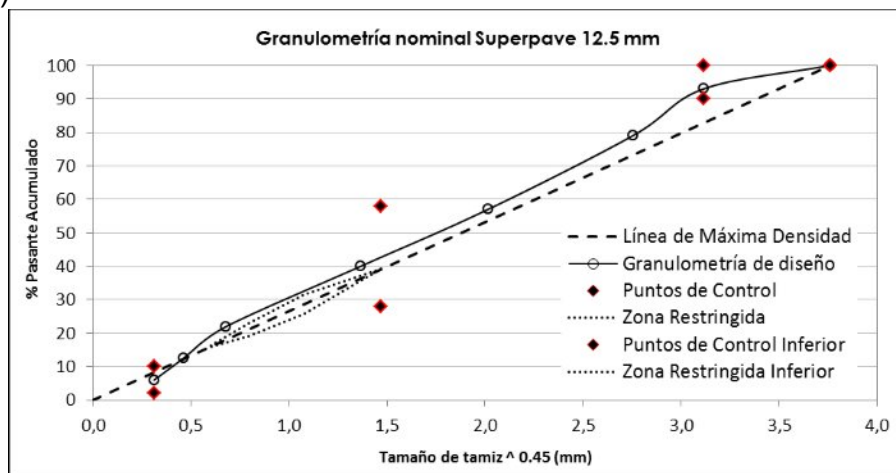
La mezcla asfáltica se diseñó por metodología SUPERPAVE y la granulometría seleccionada se encuentra marcada por la franja resaltada en el porcentaje retenido, (Figura 1)

Figura 1: a) Granulometría de la mezcla b) Curva Granulométrica de la mezcla

a)

Tamiz #	Tamiz mm	Apertura $\phi 0.45$	Zona restringida	Puntos de control	Específ. MDC-2	% Pasante acumulado	% Retenido acumulado	Porcentaje retenido	Peso retenido (g)
3/4	19,0	3,762		100	100	100,0	0,0	0,0	0,00
1/2	12,5	3,116		90 - 100	80 - 95	93,0	7,0	7,0	139,09
3/8	9,5	2,754			70 - 88	79,0	21,0	14,0	278,19
N°4	4,75	2,016			49 - 65	57,0	43,0	22,0	437,15
	2,36	1,472	39,1 - 39,1	28 - 58					
N°10	2,00	1,366			29 - 45	40,0	60,0	17,0	337,80
	1,18	1,077	25,6 - 31,6						
	0,60	0,795	19,1 - 23,1						
N°40	0,425	0,680			14 - 25	22,0	78,0	18,0	357,67
	0,30	0,582	15,5 - 15,5						
N°80	0,180	0,462			8 - 17	12,5	87,5	9,5	188,77
N°200	0,075	0,312		2 - 10	4 - 8	6,0	94,0	6,5	129,16
Fondo						0,0	100,0	6,0	119,22
								Σ	1987,05

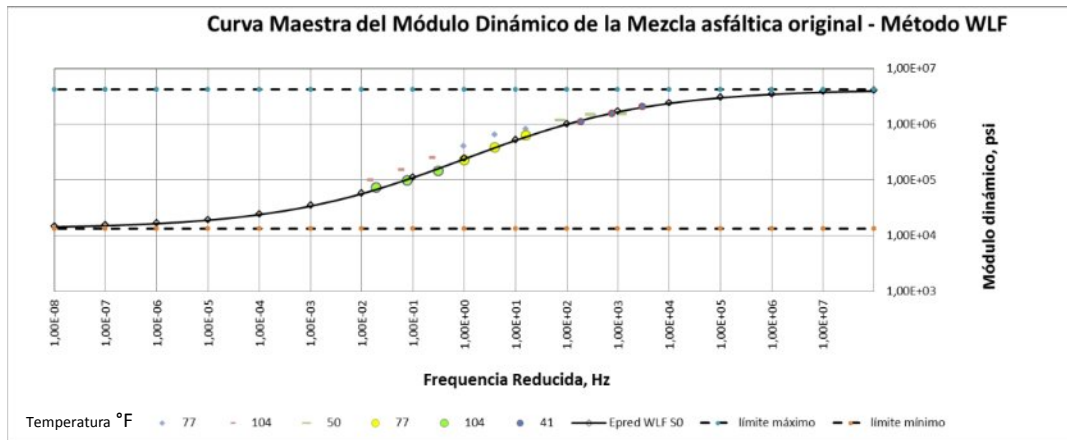
b)



Módulo dinámico de la mezcla asfáltica

La medición del módulo dinámico se realizó con la MTS- Materials Testing System, que es una máquina de ensayo electro- hidráulica con un generador que puede producir una onda de medio seno inverso, además tiene la capacidad de aplicar las cargas dentro de un intervalo de frecuencias que varían de 0.1 hasta 20 Hz y niveles de esfuerzo hasta 690 kPa (100 lbs/pulg²). El ensayo se realizó de acuerdo con la norma ASTM D3497-97 (American Society for Testing and Materials). Para medir el módulo dinámico, se aplicaron cargas sinusoidales a la muestra de prueba a diferentes temperaturas y diferentes frecuencias. El módulo dinámico se determinó como la relación entre el esfuerzo aplicado y la respuesta resultante recuperable de la deformación axial de la muestra. La curva maestra de la mezcla fabricada con el asfalto original se presenta a continuación. (Figura 2)

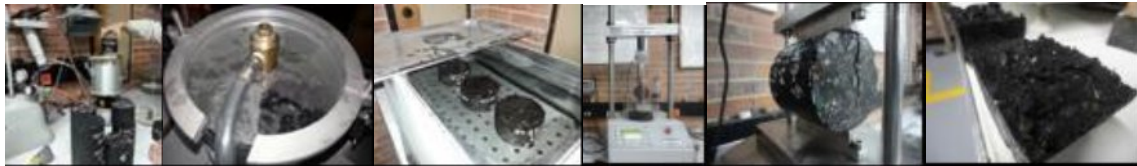
Figura 2: Curva maestra del módulo dinámico de la mezcla asfáltica



Ensayo TSR vs. Ensayo MIST

La evaluación de la susceptibilidad a la humedad en la metodología SUPERPAVE generalmente, se realiza con el ensayo TSR, en esta investigación además de este ensayo se realizó el MIST,(Figura 3).

Figura 3: Ensayo TSR para determinar la susceptibilidad a la humedad



Este ensayo establece el procedimiento para medir el efecto del agua en las mezclas asfálticas al realizar la medición del esfuerzo de tensión indirecta. En el ensayo de Lottman modificado, el vacío de saturación es del 70% y 80%, la temperatura y tasa de carga durante el ensayo son de 25°C y 5,08 cm/min, respectivamente. La susceptibilidad a la humedad se determina preparando un set de especímenes compactados en laboratorio con un rango de vacíos entre el 6% y el 8%. Este grupo se subdivide en dos grupos que tengan el mismo contenido de vacíos cada uno, con el propósito de compararlos en condición seca y húmeda. El grupo que se humedece tiene el acondicionamiento descrito anteriormente. El daño por humedad se determina por la relación entre el esfuerzo de tensión del subgrupo en condición húmeda respecto al esfuerzo de tensión del subgrupo en condición seca. Algunas de las especificaciones y documentos que definen el ensayo son la AASHTO T283, NCHRP Report 274, Tunnicliff and Root 1984.[22] y Tex 531-C, (Figura 3).

Figura 4: Ensayo MIST para determinar la susceptibilidad a la humedad



Este es un ensayo de acondicionamiento acelerado para determinar además de la susceptibilidad al agua, la sensibilidad al stripping de las mezclas asfálticas. El ensayo se realiza a temperaturas mayores a la temperatura ambiente y crea una presión de poros dentro de la mezcla compactada para lograr los efectos que esta experimenta bajo cargas vehiculares. El ensayo reproduce tres factores: esfuerzo, presión y alta temperatura en presencia de agua, Xinjun Li et al, 2010. Una vez terminado el acondicionamiento se mide el esfuerzo de tensión indirecta tal como se hace en el ensayo TSR. El daño por humedad se determina por la relación entre el esfuerzo de tensión en la condición húmeda respecto al esfuerzo de tensión en la condición seca, (Figura 4).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- Durante la investigación se trabajó con diferentes asfaltos con los cuales se realizó el ensayo TSR y MIST simultáneamente con el propósito de observar la relación entre los dos ensayos y los resultados obtenidos. En la figura 5 se observa una gráfica que permite entender la relación entre los resultados obtenidos por los dos métodos. Para todos los asfaltos utilizados la susceptibilidad a la humedad fue mayor para el ensayo MIST. En la curva con escala aritmética se observa la tendencia logarítmica de los resultados con un buen R2, aproximadamente 1 para los dos casos, (Figura 5). Si se linealiza la gráfica se tiene un R2 de aproximadamente 0,90 para los dos casos y representa un buen coeficiente de correlación para los resultados, (Figura 6).

Figura 5: Gráfica comparativa entre el ensayo TSR y el MIST

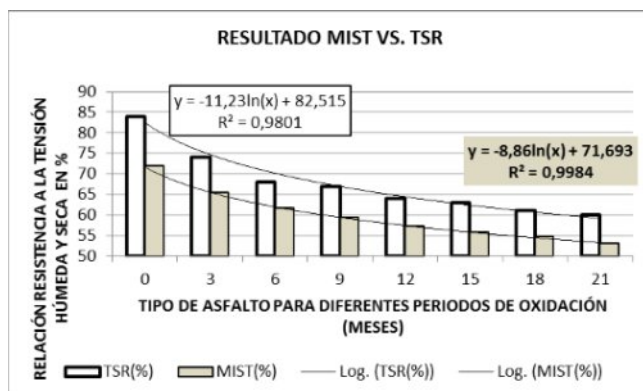
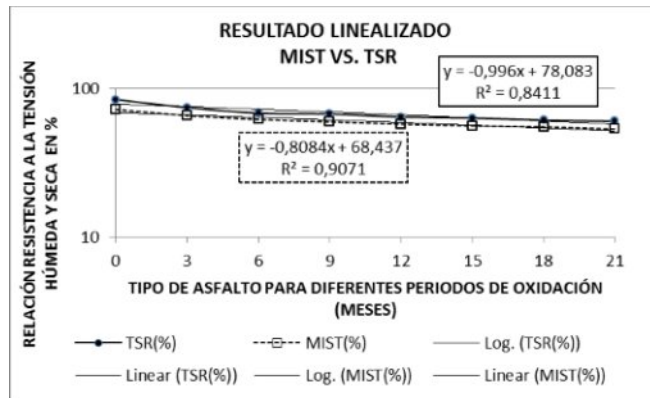
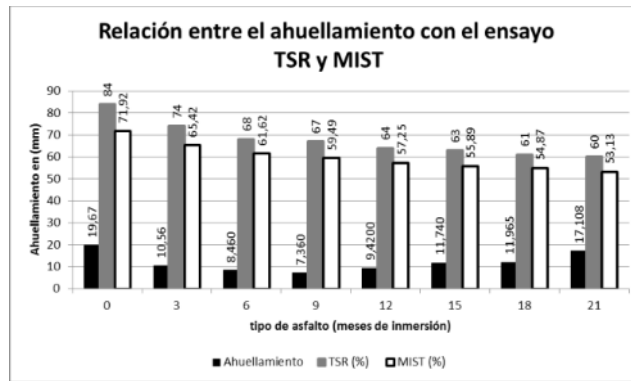


Figura 6: Gráfica comparativa linealizada entre el ensayo TSR y el MIST



- El acondicionamiento con el ensayo MIST es más aproximado a la realidad de la de la mezcla asfáltica en servicio. Durante el ensayo es deseable que se aplique una temperatura $T=60^{\circ}\text{C}$, que corresponde a la máxima de la mezcla en servicio un número de ciclos según el tráfico, liviano, mediano o pesado, para esta investigación se aplicaron 3000 ciclos y una presión de 50 psi.
- El acondicionamiento previo al ensayo TSR solo considera el control de la temperatura en una condición estática, sin presión ni ciclos de carga, así mismo no es posible observar el daño por stripping que tiene la mezcla. Si bien el ensayo indica una pérdida de resistencia por efecto del agua no necesariamente está relacionada con las condiciones de campo.
- Es necesario realizar trabajos complementarios sobre la relación entre estos dos ensayos y calibrar los resultados del MIST con pruebas de campo que permitan establecer una correlación y confiabilidad de la prueba.
- Vale la pena tener en cuenta que el ensayo MIST desde el momento del acondicionamiento, con las probetas listas (compactadas) hasta el momento de finalización del mismo toma aproximadamente cuatro horas. Este dato es importante para considerar el plan de ensayos del proyecto.
- El daño por desempeño que la mezcla presentó con los diferentes asfaltos, se analizó a través del ahuellamiento. Tras el análisis para una hora y su relación con los resultados en el TSR y MIST, se observó el impacto de la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a la humedad. Es claro que la medición es más precisa con el ensayo MIST, (Figura 7).

Figura 7: Gráfica comparativa linealizada entre el ensayo TSR y el MIST



REFERENCIAS

American Society for Testing and Materials-ASTM.

American Association of State Highway and Transportation Officials-AASHTO Standards

Buchanan, M. S., & Moore, V. M. (2005). Laboratory Accelerated Stripping Simulator for Hot Mix Asphalt.

Chen, X., & Huang, B. (2008). Evaluation of moisture damage in hot mix asphalt using simple performance and superpave indirect tensile tests. Construction and Building Materials, 22(9), 1950–1962.

Figuerola A.S.; Velásquez R.; Reyes F.; Bahía H. The Effect of Water Conditioning for Extended Periods on the Properties of Asphalt Binders. Transportation Research Record, 13-4280, Transportation Research Board, Washington D.C., 2013..

Instituto Nacional de Vías –INVIAS –Normas 2007.Colombia.

Kanitpong, K. and Bahía, H. U. Evaluation of HMA moisture damage in Wisconsin as it relates to pavement performance. International Journal of Pavement Engineering. 2008, 9(1), 9-17.

Kennedy, T. W.; Roberts, F. L.; and Anagnos, J. N. (1984). Research Report 253-5, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.

Lottman, R. P. (1971). The moisture mechanism that causes asphalt stripping in asphaltic pavement mixtures.

Solaimanian, M., Harvey, J., Tahmoressi, M., & Tandon, V. (2003). Test methods to predict moisture sensitivity of Hot-Mix asphalt pavements. Presentado en A national seminar: moisture sensitivity of asphalt pavements.

Tunnicliff, D. G.; and Root, R. E. (1984). "Use of Anti-Stripping Additives in Asphaltic Concrete Mixtures". NCHRP Report 274, Laboratory Phase, TRB, National Research Council, Washington, D.C.

Xinjun Li, Nelson Gibson, Evaluation Moisture Induced Sensitivity Test (MIST) Device: Comparison and Contrast with AASHTO T 283, FHWA, Draft Report.2010.