

# EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS AL UTILIZAR LOS ADITIVOS REDISET Y SASOBIT<sup>1</sup>

Freddie Salado Martínez<sup>2</sup>, Moisés Estrada<sup>3</sup>

**Resumen:** Debido a los cambios climáticos que generan humedad en las zonas tropicales, el pavimento presenta cierta susceptibilidad a fallar por el desprendimiento de la película asfáltica. Este artículo presenta la metodología utilizada al evaluar el efecto de la humedad en mezclas asfálticas tibias, las cuales fueron modificadas por los aditivos Rediset (manufacturado por Akzonobel) y Sasobit (manufacturado por Sasol) añadidos directamente al asfalto líquido. Las mezclas compactadas fueron sometidas a un ciclo de 24 horas a temperaturas de 0°F y 140°F conocidas como ciclos frío y caliente, respectivamente, con el propósito de aplicar tensión indirecta al espécimen. La prueba permite obtener una razón conocida como “tensile strength ratio”, la cual debe ser mayor de 80% como evidencia de que no se presentará el efecto de “stripping” en la mezcla. Los resultados mostraron que ambos aditivos reducen la susceptibilidad a la humedad de la mezcla compactada disminuyendo así la probabilidad de que ocurra pérdida de la película asfáltica.

**Palabras clave:** mezclas asfálticas tibias, “stripping”, “tensile strength ratio”.

## EVALUATION OF THE EFFECT OF HUMIDITY IN WARM MIX ASPHALT USING THE ADDITIVES REDISET AND SASOBIT

**Abstract:** Pavements are more susceptible to failure by detachment of the film asphalt due to climate changes that produce moisture in the tropics. This paper presents the methodology used to assess the effect of humidity on Warm Mix Asphalt (WMA), which was modified by the additives Rediset (produced by Akzonobel) and Sasobit (produced by Sasol) added directly to the liquid asphalt. The compacted mixes were subjected to one (1) cycle of 24 hours at temperatures of 0°F and 140°F known as cold and hot cycles, respectively, in order to apply indirect tension to the specimen. The test allows obtaining a value known as tensile strength ratio, which must be greater than 80% as evidence that the effect of stripping will not be present in the mix. The results showed that both additives reduce the moisture susceptibility of the compacted mixture, thereby decreasing the probability of loss of the asphalt film.

**Key words:** stripping, tensile strength ratio, warm mix asphalt.

## INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas tibias (WMA, por sus siglas en inglés) resultan de añadir un aditivo (a base de agua, químico, orgánico, o híbrido) destinado a reducir la temperatura de la mezcla de asfalto entre 30°F y 120°F menor que el asfalto convencional “hot mix asphalt” (HMA) (Figura 1). Comenzó como un experimento europeo entre 1995-1996 como una medida para reducir las emisiones de gases del efecto invernadero, disminuir el consumo de combustible y reducir la exposición de los trabajadores a las emanaciones del asfalto (Prowell et al., 2011).

Entre 1997 y 1999, Europa construyó su primer pavimento utilizando mezclas asfálticas tibias; los resultados fueron utilizados como referencia en muchos países. Debido a dicho avance, la National Asphalt Pavement

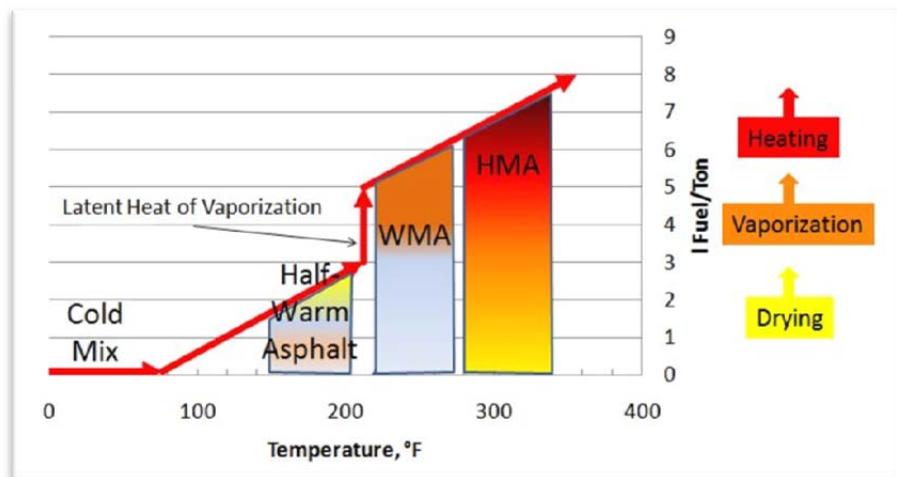
<sup>1</sup> Artículo recibido el 15 de noviembre de 2012 y aceptado para publicación el 12 de diciembre de 2012.

<sup>2</sup> Estudiante Graduado, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR 00681-9000. E-mail: freddie.salado@upr.edu

<sup>3</sup> Técnico de Laboratorio, R & F Asphalt Unlimited, Inc., Ponce, PR 00780. E-mail: moises\_estrada2000@yahoo.com

Association (NAPA) decidió iniciar el viaje de estudios a Europa con el fin de reunir toda la información sobre tecnologías tales como Aspha-min, WAM Foam y Sasobit, las cuales fueron utilizadas para producir mezclas asfálticas tibias (FHWA, 2008). La importancia de la exploración radica en identificar varios temas relacionados a los procesos utilizados para producir mezclas asfálticas tibias, diseños de mezclas, desempeño de la mezcla, limitaciones y beneficios relacionados.

A pesar de que Estados Unidos no tenía vasta experiencia con WMA, se comenzó un programa investigativo en el que se establecería la especificación relacionada al diseño de mezclas asfálticas tibias conocida como “NCHRP 9-43: Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt”, en la que se explican los diferentes aspectos que deben tomarse en cuenta para el diseño de la mezcla (Prowell et al., 2011). A la fecha del 2010 se han documentado proyectos relacionados con mezclas asfálticas tibias en 45 estados y en 10 provincias de Canadá de las cuales 30 ya establecieron sus especificaciones para el diseño (Prowell et al., 2011). En el caso de Puerto Rico, ya se han llevado a cabo cerca de 10 proyectos en carreteras primarias y secundarias en donde se utilizó principalmente el aditivo Rediset.



**Figura 1:** Rangos de temperaturas establecidos por el NAPA (Prowell et al., 2011).

## IMPACTO DE LA HUMEDAD EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

El asfalto líquido puede ser sensible a la presencia de agua en el pavimento al interactuar con ciertos materiales, por lo que ocasionaría una pérdida de adherencia de los agregados pétreos en la mezcla compactada. Debido a que el asfalto líquido es el aglutinante que mantiene el pavimento, se pueden presentar fallas rápidas conocidas como “stripping” (pérdida de la película asfáltica) las cuales conllevan al desmoronamiento del pavimento. Para poder prevenir dicha falla, se utiliza se le añaden aditivos a la mezcla para que pueda funcionar como un promotor de adherencia conocido como “antistripping”.

A pesar de obtener dicho beneficio, la presencia de aditivos en la mezcla permite disminuir la susceptibilidad a la humedad y reducir la viscosidad del asfalto líquido, lo cual es beneficioso al momento de mezclar y compactar la mezcla debido a la reducción de fricción entre los agregados. A pesar de que los aditivos reducen la probabilidad de falla por humedad, el reducir la temperatura de mezclado podría impedir que los agregados no se sequen completamente los agregados podrían no secarse completamente. En adición, las mezclas asfálticas tibias han probado ser eficientes en diferentes áreas del proceso de pavimentado como la facilidad del compactado de la mezcla, pavimentación en climas más fríos debido a la reducción de temperatura de producción de la mezcla, incremento en la distancia de acarreo y mayor uso de asfalto reciclado en la mezcla. Por otro lado, existen beneficios ambientales en donde se reducen las emisiones, el consumo de combustible y se mejoran las condiciones de trabajo al momento de pavimentar dicha mezcla.

## MODIFICACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE

Las mezclas asfálticas tibias se diseñan por medio de cuatro (4) métodos que modifican una mezcla convencional conocida como “hot mix asphalt (HMA)” las cuales se pueden producir y compactar a temperaturas más bajas (NCHRP, 2011). El modificar el asfalto líquido por medio de un aditivo químico logra reducir la viscosidad permitiendo que el rango de producción sea a temperaturas por debajo de los 300 °F (Tabla 1). El método utilizado para la modificación de la mezcla en esta investigación fue el de modificar la viscosidad con un aditivo químico añadiéndolo directamente a la mezcla. No obstante, existe otro método en el que el aditivo es añadido durante el proceso de mezclado. También es posible utilizar agregados con altos contenidos de humedad combinados con asfaltos modificados o realizar un proceso de mezclado por espumado (conocido como “foaming”) en el que se le inyecta agua fría al asfalto líquido permitiendo que el agua se evapore y cree un proceso de expansión térmica que permite obtener la mezcla. Los aditivos seleccionados para este estudio fueron Rediset y Sasobit en una dosis de 1.5% del peso total del asfalto líquido para poder modificar y crear una mezcla tibia.

**Tabla 1: Viscosidad del asfalto líquido PG 64-22.**

PG 64-22	cP	
	135°C	165°C
Control	380	110
Sasobit	310	90
Rediset	270	70

## EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS COMPACTADAS

Existe el método establecido por AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) que evalúa la resistencia al daño inducido por la humedad en una mezcla compactada. La prueba “AASHTO T 283: Standard Method of Test for Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage” establece el proceso de preparación de los especímenes compactados a un porcentaje de vanos determinado en donde se preparan 6 especímenes de aproximadamente 115 mm de diámetro y 95 mm de altura con un porcentaje de vanos igual a  $7 \pm 0.5$  (AASHTO, 2011). Luego de haber pasado por un proceso de selección, los especímenes escogidos fueron separados en dos (2) grupos, uno condicionado por saturación de agua y otro no condicionado.

### Preparación de especímenes

Cada especímen fue preparado según el estándar “AASHTO T 312: Preparing and determining the density of hot mix asphalt (HMA) specimen by means of the superpave gyratory compactor” que se utiliza para preparar especímenes con el propósito de poder determinar las propiedades volumétricas y mecánicas de la mezcla compactada utilizando el equipo conocido como “superpave gyratory compactor”. Dicho equipo simula el esfuerzo de compactación que ejerce un equipo mecánico sobre la mezcla compactada en un pavimento. La mezcla no compactada pasa por un proceso de curado de 16 horas a una temperatura aproximada de 140°F y luego por el proceso de oxidación por un periodo de 2 horas a una temperatura de 285°F para permitir que el recubrimiento de los agregados sea lo más eficiente posible (AASHTO, 2011).

La mezcla es introducida en un cilindro de 175 mm de altura y 150 mm de diámetro colocada en el “superpave gyratory compactor” en donde se le aplica una presión de  $600 \pm 18$  kPa con una velocidad rotacional de  $30.0 \pm 0.5$  revoluciones por minuto a un ángulo interno de  $1.16 \pm 0.02^\circ$  hasta lograr la altura establecida. Una vez compactados los especímenes, se almacenan a temperatura ambiente por 24 horas para permitir el enfriamiento de la mezcla compactada (AASHTO, 2011).

### Verificación del porcentaje de vanos y gravedades específicas ( $G_{mb}$ y $G_{mm}$ )

Toda muestra pasa por un proceso de verificación de parámetros de aceptación para corroborar que el diseño de mezcla establecido cumpla con los requisitos mínimos de las especificaciones seleccionadas. El método estándar

“AASHTO T 209: Theoretical maximum specific gravity and density of hot mix asphalt (HMA)” permite determinar la gravedad específica máxima teórica ( $G_{mm}$ ) y la densidad de la mezcla no compactada. En el procesamiento y análisis del método se utilizaron duplicados de la mezcla no compactada para obtener los pesos en aire y en agua luego de ser sumergida por 10 minutos en agua a 25°C. El método establece que para agregados con elevada absorción se debe realizar un proceso de determinación del peso final SSD por medio del “dry back” en donde se seca la mezcla no compactada a temperatura ambiente y se pesa en intervalos de 15 minutos hasta que la diferencia en peso entre una medida y la próxima sea menor de 0.05%. Dichos datos se utilizan en la ecuación (1) para obtener la  $G_{mm}$  de la mezcla no compactada (AASHTO, 2011):

$$G_{mm} = \frac{W_{air}}{W_{SSD} - W_{H_2O}} \quad (1)$$

donde  $W_{air}$ ,  $W_{SSD}$  y  $W_{H_2O}$  son el peso del espécimen en aire, el peso del espécimen con superficie seca y el peso del espécimen en agua, respectivamente.

La gravedad específica “bulk” ( $G_{mb}$ ) se calcula de acuerdo al estándar “AASHTO T 166-11: Bulk specific gravity of compacted hot mix asphalt (HMA) using the saturated surface-dry specimens” que presenta el método para determinar la  $G_{mb}$  de una mezcla compactada utilizando el “superpave giratory compactor”. Cada espécimen compactado es pesado en aire y luego sumergido en agua a 25 °C por  $4 \pm 1$  minutos para obtener su peso en agua. Luego se obtiene el peso con la superficie seca. Dichos datos se utilizan en la ecuación (1) para poder obtener la  $G_{mb}$  de la mezcla compactada. El porcentaje de agua absorbida se verifica utilizando la ecuación (2). El porcentaje de agua absorbida debe ser menor a 2% para cumplir con los parámetros de aceptación de la prueba. En caso contrario se modifica el método cubriendo los espécímenes con una película impermeable (AASHTO, 2011).

$$\% \text{ de agua absorbida} = \frac{W_{SSD} - W_{air}}{W_{SSD} - W_{H_2O}} \quad (2)$$

Una vez se hace esta verificación se obtiene el porcentaje de vanos en la mezcla compactada por medio de la ecuación (3) para verificar que dicho valor esté dentro del rango establecido para mezclas compactadas en Puerto Rico de  $4 \pm 1.25$  % Va.

$$\% \text{ Va} = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (3)$$

### Condicionamiento de la mezcla compactada

Los espécímenes compactados son divididos en dos subgrupos de tres cada uno con el fin de pasar por un proceso de condicionamiento antes de obtener la carga de falla de los mismos. El subgrupo 1 pasa un proceso no húmedo en el que se sella completamente cada espécimen y es colocado en un baño de María a 77°F por aproximadamente 2 horas. Luego dichas muestras son utilizadas para aplicarles tensión indirecta a una razón de 50 mm por minuto para poder obtener la carga a la que fallan.

El subgrupo 2 pasa por un proceso húmedo en el que las muestras son saturadas de agua. Cada espécimen debe pasar un proceso de succión por un tiempo de 5 a 10 minutos aplicando una presión parcial de 12.5 in Hg con el fin de abrir los vanos y dejar que la muestra se sature con mayor facilidad. Dicho proceso es detenido al momento en el que la muestra alcanza entre 70 y 80% de saturación para entonces comenzar el ciclo frío. Cada espécimen es colocado en bolsas plásticas con 10 mL de agua y sellados para almacenarlos por 24 horas a una temperatura de 0°F. Luego las muestras son removidas de las bolsas plásticas y colocadas en un baño de María a 140°F por 24 horas. Las muestras condicionadas se colocan en un segundo baño de María a 77°F por 2 horas para bajar la temperatura de las muestras a temperatura ambiente y proseguir con la aplicación de una carga indirecta.

## Determinación de “tensile strength ratio” (TSR)

Ambos subgrupos fueron condicionados para ser sometidos a tensión indirecta y obtener la carga de falla. Luego de cargar los especímenes hasta el punto de falla, se abren por la mitad para estimar visualmente el porcentaje de agregados que perdió el recubrimiento del asfalto líquido; esto es indicativo del daño por efecto de humedad. La ecuación (4) se usa para obtener el esfuerzo en tensión para ambos subgrupos:

$$S_t = \frac{2P}{\pi D} \quad (4)$$

donde P, t y D son la carga máxima en libras, la altura del espécimen en pulgadas y el diámetro del espécimen en pulgadas, respectivamente.

Luego se calcula la razón conocida como “tensile strength ratio” (TSR) con la ecuación (5), dividiendo el esfuerzo de tensión promedio del subgrupo condicionado entre el esfuerzo de tensión promedio del subgrupo no condicionado. Se requiere que el valor obtenido de TSR sea mayor o igual a 80% para poder comprobar el grado de susceptibilidad a la humedad de la mezcla.

$$TSR = \frac{S_{wet}}{S_{dry}} \quad (5)$$

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

La mezcla asfáltica en la que se utilizó el aditivo orgánico Sasobit, se codificaron de la siguiente manera 1B, 2B y 3B para que fueran condicionadas por medio de la saturación de agua y las muestras 4B, 5B y 6B no fueron condicionadas. Se obtuvo un porcentaje de vanos (%V<sub>a</sub>) cercano al 7% en las muestras del subgrupo condicionado reflejando un incremento del diámetro de las mismas lo que representa una expansión del espécimen debido a la saturación.

Debido a que las muestras condicionadas fueron debilitadas por el ciclo de congelamiento y descongelamiento presentan una carga menor a las no condicionadas. Se obtuvo el promedio de cada subgrupo y se dividió el subgrupo condicionado sobre el no condicionado para obtener un TSR = 88.3 % el cual es mayor a 80 %, lo que determina que la mezcla asfáltica tibia modificada con el aditivo Sasobit tiene baja susceptibilidad a la humedad y al “stripping”.

La Tabla 3 presenta los resultados obtenidos para la mezcla modificada con el aditivo químico Rediset el cual se dividió en dos subgrupos codificados de la siguiente manera 1C, 2C y 3C (no condicionado) y los especímenes 4C, 5C y 6C (condicionado). A pesar de que los valores de %V<sub>a</sub> son más bajos en comparación con el aditivo Sasobit, están dentro del rango para permitir la saturación de las muestras. Se obtuvo un valor de un TSR = 86.9 % reflejando un mejor valor de susceptibilidad ante la humedad en comparación con la mezcla que utilizó Sasobit.

**Tabla 2: Resultados obtenidos para muestras con el aditivo Sasobit.**

Sasobit						
	Condicionadas			No Condicionadas		
ID	1B	2B	3B	4B	5B	6B
<b>Diámetro, in</b>	5.89	5.91	5.91	5.90	5.91	5.91
<b>Grosor, in</b>	3.748	3.743	3.738	3.737	3.747	3.753
<b>Volumen, cm<sup>3</sup></b>	1624.8	1621.0	1619.4	1619.9	1623.0	1615.1
<b>G<sub>mb</sub></b>	2.271	2.271	2.274	2.273	2.270	2.274
<b>G<sub>mm</sub></b>	2.442	2.442	2.442	2.442	2.442	2.442

<b>% Va</b>	7.0	7.0	6.9	6.9	7.0	6.9
<b>Volumen de Va, cm<sup>3</sup></b>	113.825	113.424	111.456	112.283	114.114	111.128
<b>Carga lbf</b>				2647.00	2547.00	2667.00
<b>*Grosor, in</b>	3.753	3.758	3.741			
<b>*Masa SSD, g</b>	3773.4	3766.3	3765.1			
<b>Volumen de agua absorbida cm<sup>3</sup></b>	91.8	81.6	92.4			
<b>Carga, lbf</b>	2248.00	2447.00	2248.00			
<b>S<sub>dry</sub>, psi</b>				76.4	73.2	76.6
<b>S<sub>wet</sub>, psi</b>	64.8	70.2	64.8			

**Tabla 3: Resultados obtenidos para muestras con el aditivo Rediset.**

Rediset						
	No Condicionadas			Condicionadas		
ID	1C	2C	3C	4C	5C	6C
<b>Diámetro, in</b>	5.902	5.908	5.904	5.915	5.917	5.908
<b>Grosor, in</b>	3.741	3.741	3.740	3.742	3.749	3.754
<b>Volumen, cm<sup>3</sup></b>	1618.3	1624.2	1611.7	1611.7	1623.4	1614.2
<b>G<sub>mb</sub></b>	2.274	2.280	2.283	2.280	2.275	2.283
<b>G<sub>mm</sub></b>	2.441	2.441	2.441	2.441	2.441	2.441
<b>% Va</b>	6.8	6.6	6.5	6.6	6.8	6.5
<b>Volumen de Va, cm<sup>3</sup></b>	110.713	107.437	104.604	106.448	110.570	104.933
<b>Carga lbf</b>	2538.68	2429.12	2698.04			
<b>*Grosor, in</b>			3.753	3.759	3.756	
<b>*Masa SSD, g</b>			3754.9	3774.7	3763.9	
<b>Volumen de agua absorbida cm<sup>3</sup></b>			80.2	81.5	79.4	
<b>Carga, lbf</b>			2048.00	2238.00	2437.00	
<b>S<sub>dry</sub>, psi</b>	73.2	70.0	77.8			
<b>S<sub>wet</sub>, psi</b>			58.6	63.9	69.7	

## CONCLUSIONES

En la evaluación de pavimentos modificados con aditivos químicos, se observó que para ambos casos los aditivos Rediset y Sasobit reducen la susceptibilidad a la humedad de la mezcla compactada. Los aditivos ayudaron a reducir significativamente la viscosidad del asfalto líquido permitiendo un recubrimiento efectivo de los agregados. Los resultados de TSR obtenidos indican que hay una baja probabilidad de que ocurra “stripping” en ambas mezclas. Se comprueba que ambos aditivos químicos son efectivos en su función como agentes modificadores y promotores de adherencia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se le agradece a la empresa R & F Asphalt Unlimited, Inc. por el apoyo incondicional que brindaron en toda la investigación al suplir todo el equipo y materiales necesarios. Agradezco grandemente a mi consejero de maestría el Dr. Benjamín Colucci quien me ha guiado a través de toda mi carrera y a la misma vez ofreciéndome toda la experiencia posible en el campo de la ingeniería civil y otras áreas de interés.

## **REFERENCIAS**

- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (2011). *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*, Washington, D. C.
- National Cooperative Highway Research Program – NCHRP (2011). “Mix Design Practices for Warm Mix Asphalt”, Report 691, Transportation Research Board, Washington, D. C.
- Powell, B. D., Hurley, G. C. y Frank, B. (2001). “Warm-Mix Asphalt: Best Practices”, Conference Proceeding, *53<sup>rd</sup> National Asphalt Pavement Association Annual Meeting*.
- Federal Highway Administration – FHWA (2008). “Warm-Mix Asphalt: European Practice”, Report FHWA-PL-08-007, United States Department of Transportation, Washington, D. C.

