

IAG254-01-2013
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA
ASFÁLTICA MODIFICADA CON ADITIVOS MEJORADORES DE
ADHERENCIA Y ASFALTO MODIFICADO TIPO SBS
AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS
ASFÁLTICAS MODIFICOU COM MEJORADORES DE PRESERVATIVOS
DE ADERÊNCIA

Horacio Delgado Alamilla
Instituto Mexicano del Transporte
Querétaro, México
hdelgado@imt.mx

Aldo Salazar Rivera
Instituto Mexicano del Transporte
Querétaro, México
aldosalaz@gmail.com

Resumen

En la actualidad se presentan diferentes degradaciones prematuras en los pavimentos asfálticos, los cuales están asociados a un incremento en el nivel de tránsito (volumen e intensidad), por lo cual es importante utilizar materiales que proporcionen mejores desempeños a la mezcla asfáltica. Una de las causas de estas degradaciones es la adherencia que existe entre el asfalto y el agregado, por lo cual es conveniente utilizar un aditivo que mejore esta propiedad.

Este trabajo presenta la evaluación de la influencia de un asfalto modificado tipo SBS mezclado con un promotor de adherencia en el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica. Este modificador se evaluó con y sin promotor de adherencia y fue comparado contra un asfalto convencional. La evaluación del desempeño fue realizada mediante diferentes ensayos como son la susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente, el ensayo de módulo complejo y de fatiga. Los resultados obtenidos permiten establecer que este aditivo no solo no tiene una influencia nociva en el desempeño de la mezcla asfáltica si no que para ciertas concentraciones se observan mejoras en el comportamiento mecánico.

Resumo

Atualmente, existem diferentes degradação prematura no asfalto pavimentos, os quais estão associados com um aumento do nível de trânsito (volume e intensidade), por que é importante usar materiais que proporcionam um melhor desempenho para as misturas de asfalto. Uma das causas dessas degradações é a aderência entre o asfalto e o agregado, pelo que é aconselhável a utilização de um aditivo para melhorar esta propriedade.

Este artigo apresenta a avaliação da influência de um SBS modificada tipo asfalto misturado com um promotor de aderência, o desempenho mecânico das misturas de asfalto. Este interruptor foi avaliado com e sem promotor de aderência e foi comparado com um betume modificado convencional. A avaliação de desempenho foi realizado através de diferentes testes, como são a suscetibilidade à umidade e a deformação permanente, os ensaios de fadiga e módulo complexo.

1. INTRODUCCIÓN

El incremento continuo en el nivel de tránsito (volumen e intensidad) ocasiona la aparición de fallas prematuras. Estas son debidas a los niveles de esfuerzos internos que se presentan en la carpeta asfáltica. Estos esfuerzos originan una disminución de la interacción asfalto-agregado. En la actualidad una de las soluciones más utilizadas es el uso de materiales poliméricos, sin embargo la mayoría de estos productos no mejora esta interacción.

Una solución más adecuada puede ser la utilización de un aditivo de adherencia combinado con un polímero (SBS). En anteriores trabajos se ha demostrado que este agente tensoactivo mejora las propiedades superficiales modificando la tensión superficial del asfalto, agregado pétreo o ambos para obtener mejores resultados en afinidad, sin embargo no se conocen los efectos de este aditivo en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Este artículo presenta la influencia del aditivo promotor de adherencia en propiedades de desempeño de la mezcla asfáltica

2. ADITIVO PROMOTOR DE ADHERENCIA

Este tipo de aditivos son productos tensoactivos que tienen la propiedad de modificar la tensión superficial del asfalto, agregado pétreos o ambos. Las moléculas de este aditivo se caracterizan por tener dos partes bien definidas:

- *Una parte afín al asfalto*, formada por una cadena hidrocarbonada,
- *Una parte afín al agua*, formada por grupos funcionales molares.

En las mezclas asfálticas el aditivo promotor de adherencia se concentra en la interface asfalto/agregado y se orientan en la parte lipofílica hacia el asfalto. Por otro lado los grupos polares de la parte hidrofílica generan uniones con los grupos silicatos y carbonatos de la superficie del agregado. En otras palabras, el aditivo promotor de adherencia crea un enlace químico entre el asfalto y agregado aumentando su resistencia a la acción del agua. (Figura 1).

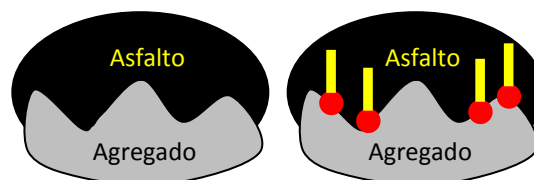


Figura 1. Ubicación del aditivo promotor de adherencia en la interface asfalto/agregado

Con la adición del promotor de adherencia al asfalto este mejorara la afinidad asfalto/agregado a través de dos mecanismos:

- *Mejorando el cubrimiento*
- *Incrementando la resistencia al desprendimiento*

La finalidad del experimento es adicionar este aditivo mejorador de adherencia a un asfalto modificado esperando que las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica no disminuyan por la inclusión de este tensoactivo.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES

3.1 Agregado Pétreo

El agregado pétreo utilizado para realizar la investigación, es producto de la trituración de roca basáltica, proveniente de un banco de referencia. (Querétaro, México).

Los ensayos que fueron realizados al agregado pétreo se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Propiedades del agregado pétreo

Prueba	Desgaste de los Ángeles, (ASTM C 131)	Desgaste Microdeval, (ASTM D 6928)	Intemperismo Acelerado (ASTM C 88)	Caras fracturadas, (ASTM D 5821)	Partículas alargadas, (ASTM D 4791)	Partículas planas, (ASTM D 4791)	Angularidad del agregado fino, (AASHTO T 304)	Azul de metileno, mg/g
Resultado	12 %	9 %	6 %	94 %	0 %	5 %	53 %	28
Especificación	30 máx.	18 máx.	15 máx.	90 mín.	10 % máx.	10 % máx	40 mín.	15 máx.

El material del banco estudiado presenta un tamaño máximo de 1" (25.4 mm) y como tamaño nominal de ¾" (19.5 mm). Con esto se definió la curva granulométrica de la mezcla asfáltica (Figura 2).

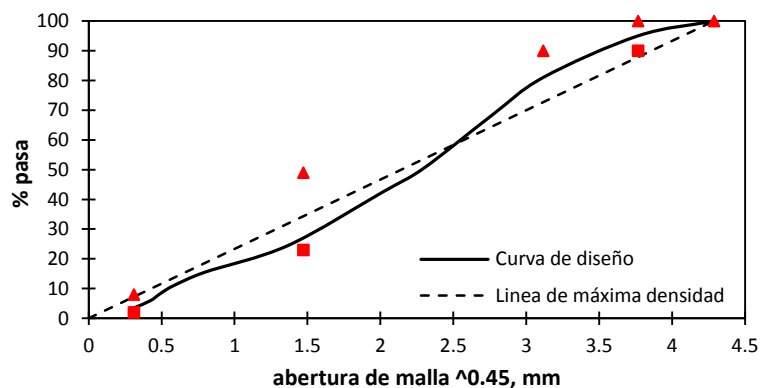


Figura 2. Curva granulométrica de diseño

3.2 Cemento asfáltico y Aditivo Promotor de Adherencia

El cemento asfáltico utilizado en el presente trabajo es proveniente de la refinería de Salamanca, México. Al cual se realizó la caracterización de acuerdo a la metodología Superpave siendo un PG 64-16.

Para identificar las diferentes combinaciones de ligantes asfálticos se utilizaron las siguientes nomenclaturas:

PG 64-16 → A.O.
PG 64-16 + SBS → A.M.
PG 64-16 + SBS + 0.3% Aditivo → A.M.1
PG 64-16 + SBS + 0.5% Aditivo → A.M.2
PG 64-16 + SBS + 0.7% Aditivo → A.M.3

Estos porcentajes de aditivo son con respecto al peso del asfalto.

3.3 Diseño Volumétrico

Para el proyecto en estudio, se estimó un tránsito vehicular de 10 a 30 millones de ejes equivalentes. Las especificaciones de los parámetros volumétricos, (TM 25 mm) son, VA de 4%, VAM mayor de 13% y VFA entre 65 y 78%, con una relación de filler-agregado entre 0.6 y 1.2, compactando los especímenes con un N_{dis} de 100 giros.

Los resultados de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica compacta se presentan en la tabla 2. En el caso de las mezclas asfálticas a las cuales se adiciono el aditivo de adherencia se utilizó el mismo diseño del A.M.

Tabla 2. Parámetros volumétricos con el contenido óptimo para A.O. y A.M.

Asfalto	PG 64-16	A.M.	Especificación
% C.A.	5.3	5.1	×
Gmb	2.340	2.335	×
Gmm	2.443	2.437	×
%VA	4.0	4.0	4.0
%VAM	14.9	15.1	> 13
%VFA	73.5	73.5	65 - 78
%Filler/Asfalto	0.73	0.71	0.6 - 1.2
%Gmm N_{dis}	96.0	96.0	96.0

4. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

4.1 Ensayo de Susceptibilidad a la Humedad

Esta prueba determina la perdida de resistencia de las mezclas asfálticas por la acción del agua, consiste en aplicar una carga de compresión a lo largo de los ejes diametrales del espécimen cilíndrico. La velocidad de aplicación de la carga es de 50,8 mm por minuto a desplazamiento constante. Los especímenes compactados fueron ensayados con una relación de vacíos del 7%. La mitad de los especímenes compactados se ensayaron en condición seca y el resto en condición húmeda, de los cuales estos últimos obtuvieron un porcentaje de saturación menor del 80% que especifica la norma AASHTO T283.

4.2 Ensayo de Deformación Permanente

La determinación de la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a la deformación permanente fue evaluada mediante el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), el tiempo de prueba para una evaluación completa de deformación permanente es de 2 horas y 16 minutos (8000 ciclos), mediante la aplicación de cargas repetidas por medio de una rueda cargada (carga de 100 lb).

Los especímenes compactados fueron ensayados con una relación de vacíos del 7%. El ensayo fue realizado en condición seca. Para esta condición seca, los especímenes se acondicionaron por 6 horas a 60 °C antes del ensayo.

4.3 Ensayo de Módulo Complejo

El ensayo de módulo complejo es realizado sobre probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro y 150 mm de altura, estas son ensayadas bajo una sollicitación sinusoidal de compresión a 5 temperaturas y 6 frecuencias. La tabla 3 resume los valores utilizados para la evaluación de la mezcla asfáltica.

Tabla 3. Puntos experimentales evaluados*

Temperaturas (°C)	Frecuencias (Hz)
-10	0,1
+4	0,5
+21	1
+37	5
+54	10
	25

* Evaluación de 30 puntos experimentales por muestra

4.4 Ensayo de Fatiga

El ensayo fue realizado de acuerdo a la Norma ASTM D7460 (Flexión en 4 puntos). El cual se realiza en probetas prismáticas con las dimensiones siguientes 50 mm x 63 mm x 380 mm. El ensayo consiste en aplicar una deflexión constante en el centro de la probeta a una temperatura de referencia de 20°C a una frecuencia de 10 Hz. El ensayo fue realizado a 4 niveles de sollicitación, 300 $\mu\epsilon$, 400 $\mu\epsilon$, 500 $\mu\epsilon$ y 650 $\mu\epsilon$.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Tensión Indirecta, TSR

En la figura 3 muestra los resultados finales del ensayo de TSR.

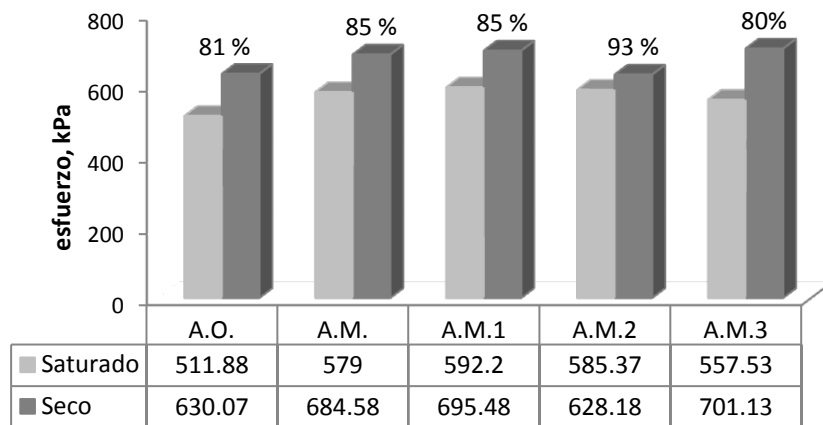


Figura 3. Esfuerzos máximos de las mezclas asfálticas evaluadas

Al incluir el modificador al A.O. aumento la resistencia a la tensión, mejorando también el comportamiento a TSR. Se observa que la mezcla asfáltica A.M.2 presenta los mejores comportamientos a TSR. En el caso de la mezcla (A.M.3), aumenta la susceptibilidad a la humedad de la mezcla. Lo que puede significar un exceso en la concentración del aditivo.

Al adicionar el aditivo mejorador de adherencia al asfalto modificado se observa que con poca concentración (A.M.1) no disminuyen sus propiedades mecánicas por la aplicación de este producto, por el contrario tiene un mejor comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica mejorando su resistencia a la tensión.

5.2 Analizador de Pavimentos Asfálticos

Cuando se adiciona el modificador al A.O. la deformación máxima reduce un 30 %, pero al incluir el aditivo con la concentración más baja (A.M.1) la rodera disminuye un 44 %, para el caso de la mezcla A.M.2 disminuyo un 42 % y para la mezcla A.M.3 UN 22 %. Lo que se observa es que con una concentración mayor la mezcla asfáltica comienza a disminuir sus propiedades mecánicas y con una concentración pequeña se obtienen mejores desempeños en la mezcla asfáltica. (Figura 5).

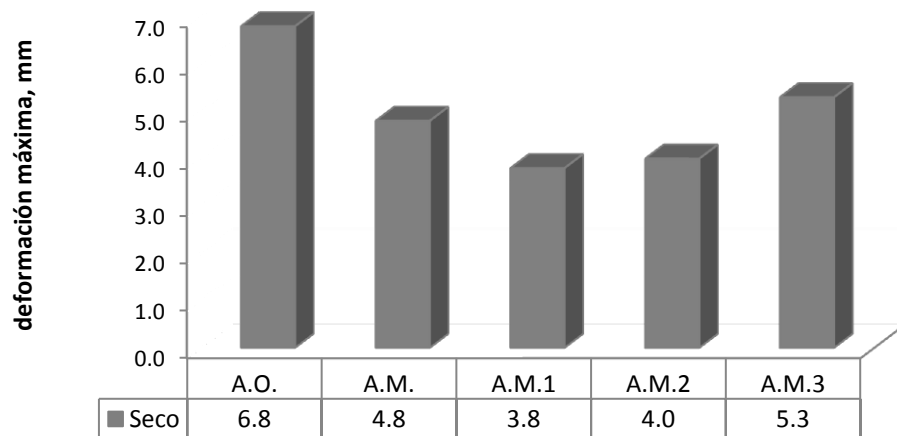


Figura 5. Deformación máxima de las mezclas asfáltica en el APA

5.3 Módulo Complejo

Para el estudio se tomó la temperatura de 21°C como la temperatura de referencia. Para analizar los resultados de las gráficas (curva maestra), se dividieron en 3 zonas, frecuencias bajas, frecuencias intermedias y frecuencias altas, a continuación se presentan los rangos de estas frecuencias:

- Frecuencias bajas < 0,1 Hz
- Frecuencias intermedias 0,1 a 100 Hz
- Frecuencias altas > 100 Hz

Se dividieron de esta forma debido a que en las frecuencias intermedias es el rango de trabajo en que se encuentran la mayoría de las mezclas asfálticas y en este rango es donde se miden las propiedades a la fatiga de la mezcla asfáltica. Por otro lado las frecuencias altas (bajas temperaturas), dan un indicador de la susceptibilidad de la mezcla a la fisuración térmica. Y el rango de bajas frecuencias (altas temperaturas) es un indicador a la deformación permanente.

5.3.1 Curva Maestra Del Módulo Complejo

Influencia del modificador sobre el asfalto convencional

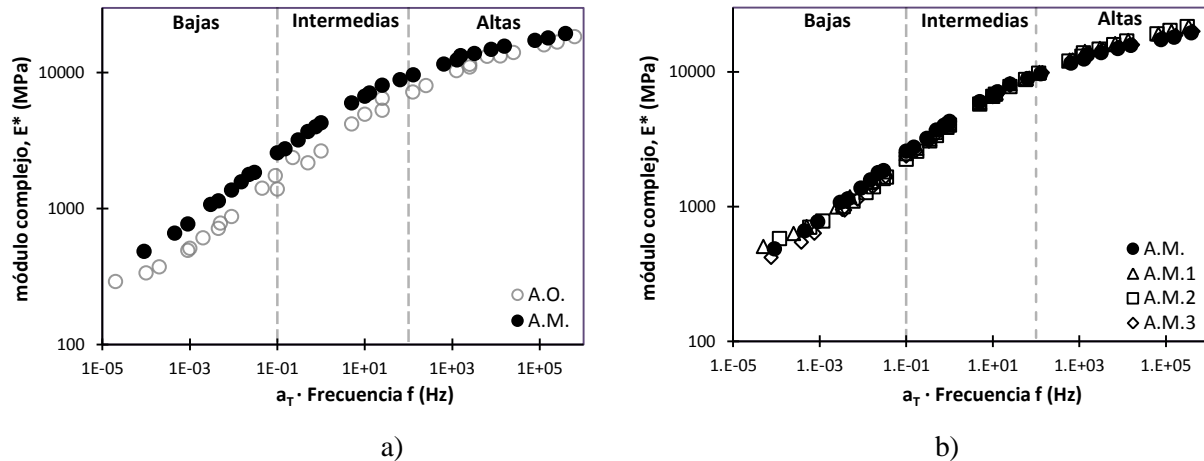


Figura 6: Curva maestra del módulo complejo, E^* con A.O. y A.M

En la figura 6a se aprecia notablemente el incremento del valor del módulo de la mezcla asfáltica al adicionarle el modificador.

- a frecuencias bajas el valor del módulo se incrementa un 51% ,
- a frecuencias intermedias es mas variable ya que va de un 38% a un 60%,
- a frecuencias altas el valor del módulo se incrementa un 18%

Influencia del aditivo mejorador de adherencia sobre el modificador

La figura 6b presenta la curva maestra del módulo complejo de la mezcla asfáltica con el aditivo mejorador de adherencia (A.M.1, A.M.2 y A.M.3), comparados con la mezcla asfáltica con polímero (A.M.)

- a frecuencias bajas el valor del módulo es ligeramente superior para el A.M.1 y A.M.2 respecto al A.M., para el A.M.3 no hay un aporte significativo,
- a frecuencias intermedias no se observa ningún aporte,
- a frecuencias altas el valor del módulo se incrementa ligeramente para el A.M.1 y A.M.2 respecto al A.M. y el A.M.3 obtiene módulos inferiores que el A.M.

Esta representación (Curva maestra del módulo complejo) no permite determinar con claridad cuál de las mezclas tiene un mejor desempeño, sin embargo, si se observa que el aditivo no tiene un efecto nocivo en la mezcla, para poder discriminar correctamente la influencia del aditivo es necesario realizar análisis adicionales.

5.3.2 Curva Maestra del Ángulo de Fase

Influencia del modificador sobre el asfalto convencional

La Figura 7a presenta la curva maestra del ángulo de fase para la mezcla asfáltica de referencia (A.O.) y la mezcla asfáltica con polímero (A.M.)

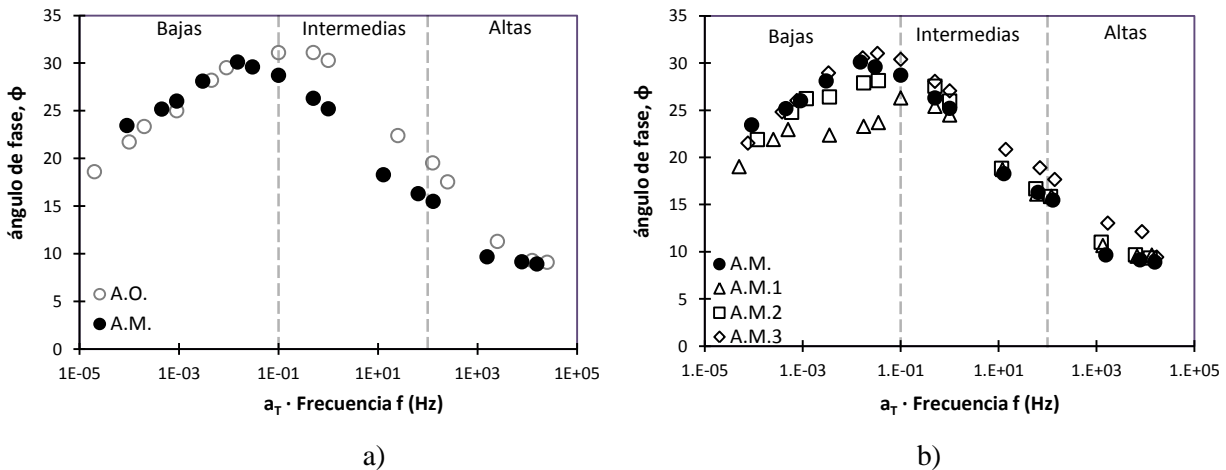


Figura 7: Curva maestra del ángulo de fase

- a frecuencias bajas, los valores de ϕ son similares,
- a frecuencias intermedias, el A.O. presenta un valor ϕ máx. superior y para el A.M. los valores de ϕ se reducen mejorando la componente elástica de la mezcla,
- a frecuencias altas, no se observa un aporte significativo en los ángulos de fase.

Influencia del aditivo mejorador de adherencia sobre el modificador

La Figura 7b presenta la curva maestra del ángulo de fase de la mezcla asfáltica con el aditivo mejorador de adherencia (A.M.1, A.M.2 y A.M.3), comparados con la mezcla asfáltica, modificada (A.M.).

- a frecuencias altas, no hay diferencias significativas en el ángulo de fase para las mezclas A.M.1 y A.M.2
- a frecuencias intermedias y bajas. Los aditivos A.M.1 y A.M.2 reducen sus valores respecto al A.M. (A.M.1: frecuencias inferiores a 1Hz y A.M.2: frecuencias inferiores a 0.05Hz). El A.M.1 presentó las mayores reducciones de ángulo de fase, esto puede representar un aumento de la componente elástica de mezcla asfáltica y por ende un aumento en el desempeño del pavimento.
- el A.M.3 presenta los mayores valores del ángulo de fase en todas las frecuencias evaluadas, lo que significa una disminución de sus propiedades mecánicas.

Comparando estas 2 representaciones (curva maestra del módulo complejo y curva maestra del ángulo de fase), se puede concluir que no existe un efecto nocivo en las propiedades viscoelásticas lineales de la mezcla asfáltica por la adición del aditivo. Para concentraciones bajas, por el contrario se puede observar una mejora en el comportamiento mecánico para las formulaciones A.M.1 y A.M.2.

5.3.3 Curva en el espacio de Black

En esta gráfica se representan las zonas con valores de módulo bajo y en particularmente la disminución del ángulo de fase para temperaturas altas.

Influencia del modificador

La Figura 8a presenta el espacio de Black para la mezcla asfáltica de referencia (A.O.) y la mezcla asfáltica con polímero (A.M.).

Los puntos muestrales evaluados forman una curva única donde se puede apreciar que la adición de modificador le da un efecto visual de contracción con respecto a la curva del A.O. Esto significa que la incorporación del modificado, rigidiza a la mezcla asfáltica, lo que puede representar una mejora de la componente elástica. Ya que la mezcla es más rígida, por ende es menos susceptible a la deformación permanente, pero también puede representar una reducción de sus propiedades a la fatiga.

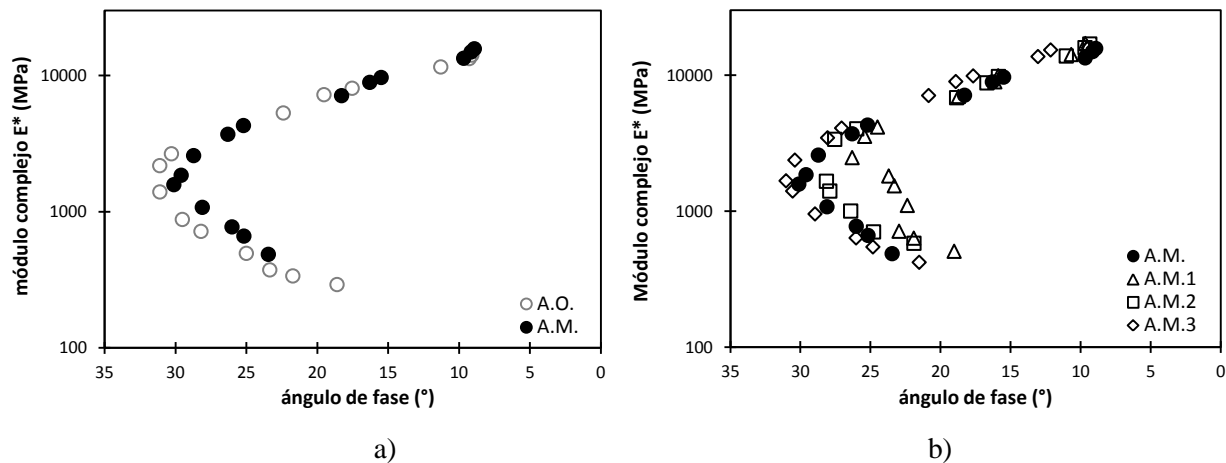


Figura 8: Espacio de Black con A.O. y A.M.

Influencia del aditivo mejorador de adherencia sobre el modificador

La Figura 8b presenta el espacio de Black de la mezcla asfáltica con el aditivo mejorador de adherencia, comparados con la mezcla asfáltica con polímero.

- Al adicionar los aditivos de adherencia al A.M. la curva del A.M.3 tiende a expandirse por lo que sus ángulos de fase tienden a ser más mayores y los valores del E^* tienden a reducirse, esto mismo sucede en la representación de la curva maestra del ángulo de fase.
- Pero en el caso del A.M.1 y A.M.2 sucede lo contrario con A.M.3. La curva de las dos primeras mezclas asfálticas tienden a contraerse más que la curva del A.M. y esto hace que la mezcla sea aún más rígida.

5.4 Fatiga

El ensayo fue realizado a 20 °C y una frecuencia de 10 Hz. Se utilizaron 4 niveles de sollicitación en desplazamiento controlado, los niveles utilizados son los siguientes 650 $\mu\epsilon$, 500 $\mu\epsilon$, 400 $\mu\epsilon$ y 300 $\mu\epsilon$. Los resultados fueron analizados mediante la curva de Wöhler (Figura 9).

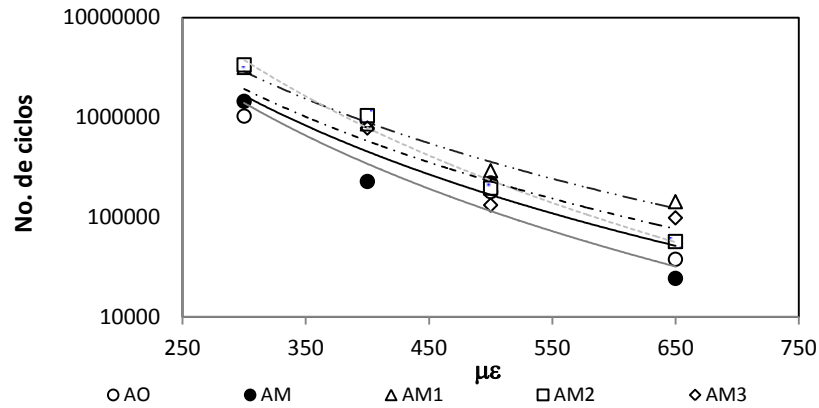


Figura 9: Curva de Wöhler.

Para calcular el número de ciclos que la probeta resistió a la fatiga se utilizó la siguiente expresión:

$$N = a \cdot \epsilon^b \quad (1)$$

En la tabla 4 se presentan los valores de las curvas realizadas a diferentes $\mu\epsilon$.

Tabla 4. Resultados de las Variables Para el Cálculo de N

	$a \cdot \epsilon$	b	Factor de correlación
A.O.	4E+16x	-4.082	0.9862
A.M.	4E+16x	-4.177	0.8199
A.M.1	1E+20x	-5.441	0.9873
A.M.2	2E+17x	-4.480	0.8865
A.M.3	2E+18	-4.882	0.9209

De la figura anterior se observa la mezcla asfáltica con polímero tiene una vida útil a la fatiga inferior que la mezcla sin modificador. Esto es interesante ya que este producto mejora las propiedades a la deformación permanente pero reduce la vida útil a la fatiga. Con la inclusión del aditivo promotor de adherencia se mejora la vida útil a la fatiga de la mezcla asfáltica, siendo la mezcla AM1 la que presenta el mejor comportamiento a la fatiga. La mezcla AM2 presenta una mejora importante en la vida útil a la fatiga sin embargo es una mezcla al nivel de la solicitación.

6. CONCLUSIONES

Se observó que el aditivo mejorador de adherencia no tiene ningún efecto nocivo, y para algunas concentraciones mejora el desempeño mecánico de la mezcla asfáltica.

En el ensayo de susceptibilidad a la humedad la mezcla A.M.1 es la que presentan mayor resistencia a la tensión. En el caso de las probetas acondicionadas tienen un aumento del 15% respecto al asfalto al A.O. y 2% respecto al A.M. para las probetas no acondicionadas aumenta su resistencia un 10% respecto al A.O. y un 1% respecto al A.M.

Para el ensayo a la deformación permanente se observó que la mezcla A.M.1 obtuvo los mejores comportamientos teniendo una disminución máxima en la rodera de 44% respecto al A.O. y un 21% respecto al A.M.

Para módulo complejo se observó lo siguiente:

- Con concentraciones menores de aditivo se encontraron mejores resultados en los parámetros de módulo complejo y ángulo de fase.
- La mezcla A.M.1 presentó los mejores comportamientos en el ensayo.

El ensayo de fatiga se observó que la mezcla A.M. no mejora la vida a la fatiga respecto de la mezcla A.O. más bien lo que logra este modificador es mejorar la deformación permanente. Al incluir el aditivo se observó un incremento en la vida a la fatiga. Para la mezcla A.M.1 se observó un aumento de 105% respecto del A.O. y 132% del A.M.

7. REFERENCIAS

[01] H. Delgado, Lo complejo del Módulo Complejo: aspectos experimentales. Revista Asfáltica, Vol 34, pp 42-46, 2013

[05] H. Delgado, Comportement à la Fatigue d'Enrobés Bitumineux Renforcés de Fibres de chanvre, Tesis de doctorado, Escuela Nacional de Trabajos Públicos del Estado, Lyon Francia, 2012.

[02] H. Delgado, L. Arnaud, Experimentación y modelización del comportamiento reológico de una mezcla asfáltica, VII Congreso Mexicano del Asfalto, 2011.

[03] H. Delgado, L. Arnaud, Investigation of the fatigue properties of asphalt mixtures reinforced with natural fibers. 5th International conference: bituminous mixtures and pavements, Tesalónica, Grecia, Junio 2011.

[04] H. Delgado, P Garnica, Evaluación y modelización de las propiedades viscoelásticas de una mezcla asfáltica, Instituto Mexicano del transporte, VII Congreso Mexicano del Asfalto, 2011.

[06] P Garnica, J.A Gómez, H. Delgado, Algunos aspectos de la densificación de mezclas asfálticas con el compactador giratorio. Instituto Mexicano del Transporte, Publicación Técnica No. 228, 2003