

IAG73-03-2013
REDUCCIÓN DE LA FISURACIÓN POR FATIGA DE LA MEZCLA
ASFÁLTICA POR MEDIO DEL CONTROL DEL PUNTO DE FUSIÓN DEL
ASFALTO
REDUÇÃO DE FISSURAÇÃO POR FADIGA DA MISTURA DE
ASFALTO, CONTROLANDO A TEMPERATURA DE FUSÃO DO
ASFALTO.

Álvaro Gutiérrez Muñiz
Quimikao S.A. de C.V.
Guadalajara, México
agutierrez@quimikao.com.mx

Resumen

La mezcla asfáltica en caliente es un material compuesto por asfalto y un agregado mineral. El asfalto actúa como un agente ligante que aglutina las partículas en una masa cohesiva en forma muy efectiva, por lo que resulta un material muy atractivo para fabricar carpetas de rodadura. El asfalto como todo material presenta limitaciones, siendo una de las principales la oxidación del mismo.

El asfalto al ser un compuesto orgánico reacciona con el oxígeno del medio ambiente cambiando su estructura y composición molecular originando una estructura más rígida y frágil, siendo esta la razón del término endurecimiento por oxidación o por envejecimiento. Esta reacción de oxidación es más rápida en la etapa de mezclado, compactación y colocación de estas mezclas asfálticas. Una mezcla asfáltica conteniendo un asfalto rígido y frágil es propensa a presentar fisuraciones por fatiga, por lo que se debe controlar esta oxidación del asfalto para tener carpetas de rodadura más durables.

Actualmente no contamos con parámetro de control eficiente para el problema de fisuración por fatiga de las mezclas asfálticas, incluso muchos estudios demuestran la debilidad del parámetro de control para este problema establecido en la norma AASHTO M-320, por lo que en este estudio se propone un nuevo parámetro de control para este problema de fisuración basado en el punto de fusión del asfalto, dado que el mismo aumenta conforme el asfalto se envejece. En este estudio se presenta una aplicación en campo donde la mezcla asfáltica fue fabricada con un asfalto que permitió mezclar y compactar la misma a menores temperaturas y que además este asfalto cambió solamente unos cuantos grados su punto de fusión con el envejecimiento a largo plazo incrementando la durabilidad del pavimento.

Resumo

A massa asfáltica quente é um material composto por asfalto e um agregado mineral. O asfalto atua como um agente ligante, aglomerando as partículas em uma massa coesiva de forma muito efetiva, resultando em um material muito atrativo para fabricar capas de rodagem. O asfalto é um

material que también presenta limitaciones, siendo una de las principales delas, a su propia oxidación.

O asfalto por ser um composto orgânico, reage com o oxigênio do meio ambiente mudando a sua estrutura e composição molecular, originando em uma estrutura mais rígida e frágil, sendo por esta razão que ele termina endurecido por oxidação ou por envelhecimento. Esta reação de oxidação é mais rápida na etapa da mistura, compactação e adesão destas massas asfálticas. Uma massa asfáltica contendo um asfalto rígido e frágil está propensa a apresentar trincas por fadiga e por isso devemos controlar esta oxidação do asfalto, para obter capas de rodagem mais duráveis.

Atualmente não contamos com parâmetros de controle eficiente para o problema de trincas por fadiga das massas asfálticas. Inclusive, vários estudos demonstram a debilidade do parâmetro de controle para este problema estabelecido na norma AASHTO M-320, por que neste estudo é proposto um novo parâmetro de controle para este problema de trincas, baseado no ponto de fusão do asfalto, cujo dado aumenta conforme o asfalto é envelhecido. Neste estudo é apresentado uma aplicação em campo, com uma massa asfáltica fabricada com um asfalto que permitiu misturar e compactar a mesma massa a menores temperaturas e que este asfalto mudou apenas alguns graus do seu ponto de fusão com o envelhecimento a longo prazo, aumentando a durabilidade do pavimento.

INTRODUCCION

La mezcla asfáltica en caliente es un material compuesto por asfalto y un agregado mineral. El asfalto actúa como un agente ligante que aglutina las partículas en un masa cohesiva en forma muy efectiva, por lo que resulta un material muy atractivo para fabricar carpetas de rodadura. El asfalto como todo material presenta limitaciones, siendo una de las principales la oxidación del mismo.

Debido a que el asfalto está constituido por moléculas orgánicas, estas reaccionan con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se llama oxidación y cambia la estructura y composición de las moléculas del asfalto. El resultado es una estructura más frágil y es la razón del término endurecimiento por oxidación o por envejecimiento.

Este fenómeno ocurre en el pavimento a una velocidad relativamente baja, si bien es mucho más rápido en un clima cálido que en un clima frío. Así el endurecimiento por oxidación es estacional y es más marcado en verano que en invierno. Debido a este tipo de endurecimiento, los pavimentos viejos son más susceptibles al agrietamiento que los nuevos. Incluso, los pavimentos asfálticos nuevos pueden ser propensos a este fenómeno si no se compactan adecuadamente. En este caso, la falta de compactación origina un alto contenido de vacíos en la mezcla, lo que permite a una mayor cantidad de aire ingresar en la mezcla asfáltica y agravar el endurecimiento por oxidación (problema muy grave y constante en México).

Una considerable parte del envejecimiento por oxidación ocurre antes de la colocación del asfalto, es decir, durante el mezclado en caliente y durante la etapa de colocación y compactación; en estas actividades se emplea una alta temperatura y el asfalto se encuentra

adherido al agregado en forma de una película muy delgada por lo que la reacción de oxidación ocurre a una velocidad mayor.

Otro tipo de endurecimiento ocurre durante el mezclado en caliente y construcción; se denomina “volatilización”. A altas temperaturas los componentes volátiles del asfalto se evaporan. Estos componentes volátiles (livianos del tipo aceites) ablandarían al asfalto de permanecer dentro de este. Para la evaluación del envejecimiento del asfalto durante el mezclado, colocación y compactación de las mezclas asfálticas además de la volatilización, se utiliza la prueba de la Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO), AASHTO T240, ASTM D2872.

Un fenómeno llamado “endurecimiento físico” ha sido observado en los cementos asfálticos. Este ocurre luego de una larga exposición a bajas temperaturas y altas temperaturas, para simular este envejecimiento con el tiempo Superpave creó una prueba utilizando la cámara de envejecimiento a presión (PAV). Este ensayo expone las muestras de ligantes a la acción de calor y presión con el objeto de recrear, en cuestión de horas, años de envejecimiento en servicio del pavimento. Es importante destacar que, por propósitos de especificación, las muestras de asfaltos envejecidas en el PAV fueron previamente envejecidas en el RTFO. Consecuentemente, el residuo del ensayo PAV ha sufrido todas las condiciones a las que son expuestos los asfaltos durante la producción colocación y servicio. Sin duda un asfalto muy duro después de la prueba del PAV será un asfalto muy rígido que opone baja resistencia a la fatiga, por ello SUPERPAVE controla el agrietamiento por fatiga limitando el valor de “ $G^* \sin \delta$ ” del asfalto envejecido a presión en el PAV a un máximo de 5000 KPa, a la temperatura de ensayo, más sin embargo numerosos estudios han demostrado que este parámetro no correlaciona lo que sucede en campo, siendo esta especificación la parte débil del sistema del grado PG (norma AASHTO M-320), por lo que en este estudio se propone un nuevo parámetro para el control de la fisuración por fatiga de la mezcla asfáltica que es limitando el valor del ángulo de fase a un máximo de 45° a la temperatura de ensayo.

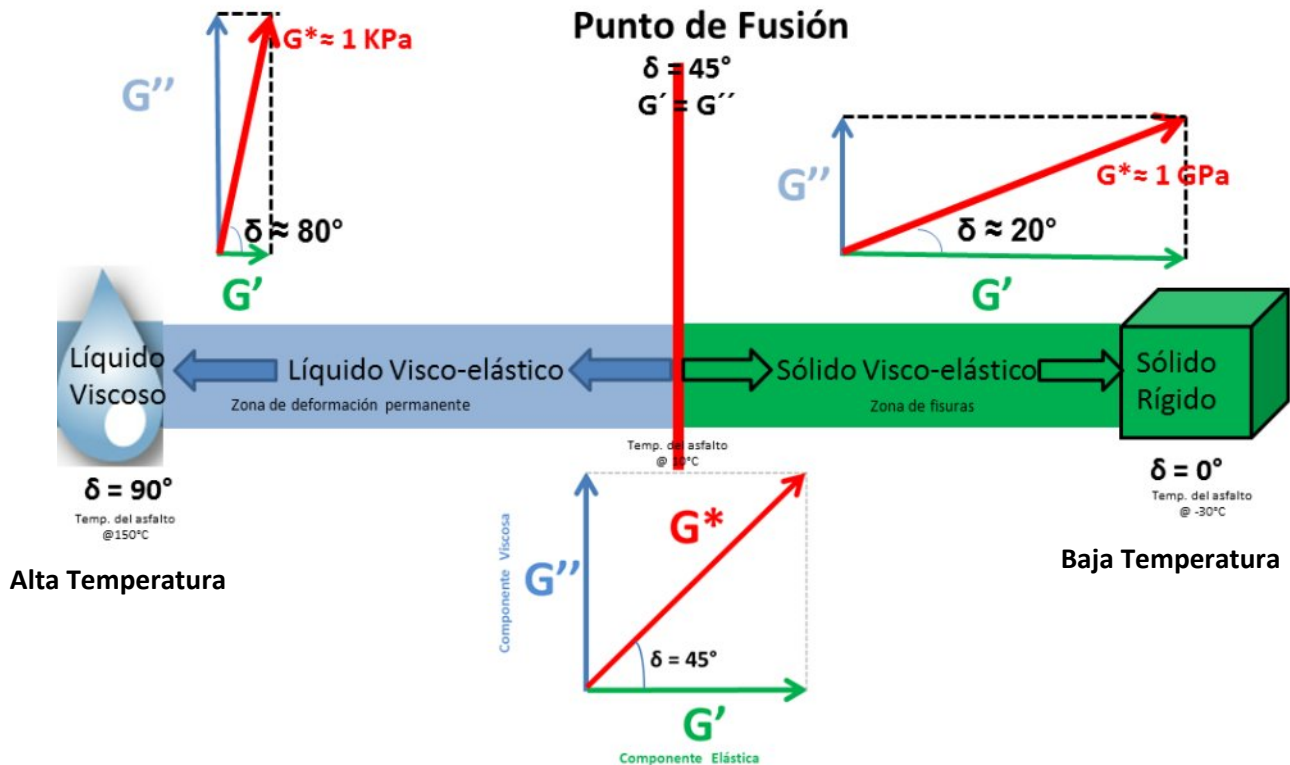
El anterior sugerido parámetro de control de la fisuración por fatiga está basado entendiendo que el asfalto es un compuesto muy susceptible a la temperatura presentando un módulo aproximado de 0.28 Pascales a 140°C , un módulo aproximado de 1×10^3 Pascales a 64°C , un módulo aproximado de 1×10^5 Pascales a 25°C y un módulo aproximado de 1×10^8 Pascales a -12°C y un comportamiento visco-elástico debido a que exhibe un comportamiento viscoso (fluye ante una carga) y un comportamiento elástico (se deforma ante una carga) al mismo tiempo, de tal forma que podríamos representar el módulo de corte complejo (G^*) como la resultante de un sistema de vectores formado por una componente elástica (G') y una componente viscosa (G''); cuando una de las componentes es mayor el comportamiento que predomina es el de esta, es decir, si la componente elástica es mayor que la viscosa el comportamiento del asfalto será como un sólido visco-elástico (esto ocurre a bajas temperaturas) y cuando la componente viscosa es mayor que la elástica el comportamiento del asfalto será como un líquido visco-elástico (esto ocurre a altas temperaturas).

Cuando la componente elástica y la viscosa son iguales en magnitud, el ángulo de fase es 45° representando el punto de fusión del mismo y si comenzamos a incrementar la temperatura del asfalto por arriba de su punto de fusión, el comportamiento de este comenzará como un líquido-visco-elástico hasta alcanzar el comportamiento de un líquido viscoso, pero si comenzamos a

disminuir la temperatura del asfalto por debajo de su punto de fusión, el comportamiento de este comenzará como un sólido-visco-elástico hasta alcanzar el comportamiento de un sólido rígido.

En la figura 1 se explica en forma gráfica lo anteriormente mencionado.

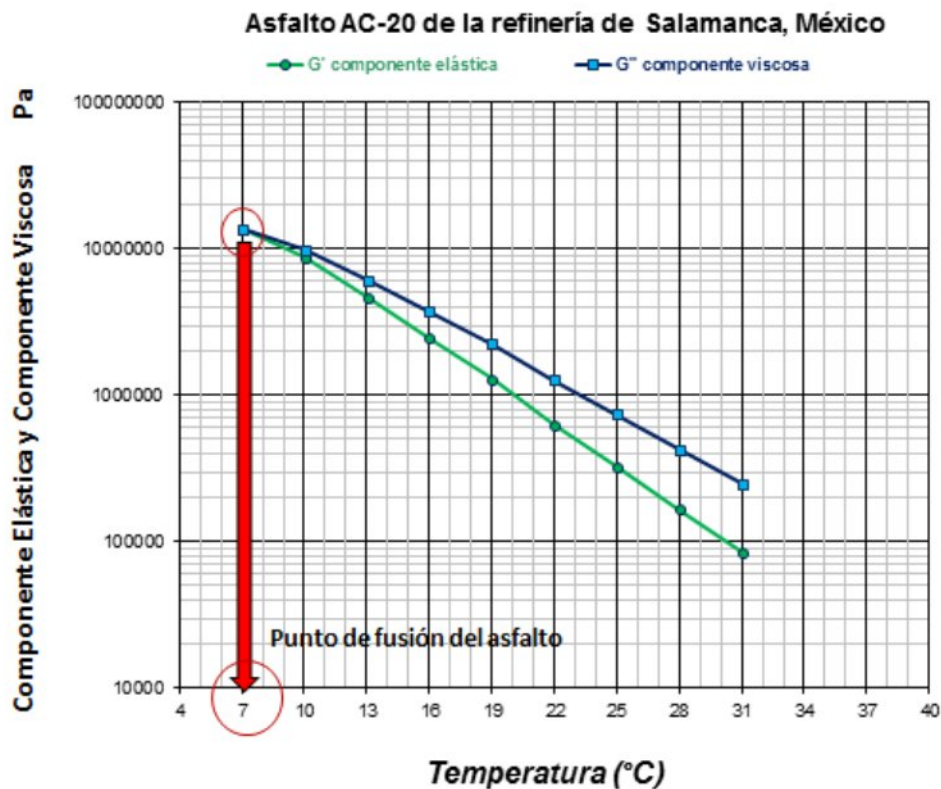
Figura 1: Comportamiento reológico del asfalto en función de la temperatura



Cuando el asfalto es estresado, la componente elástica (G') del mismo absorbe la energía y la utiliza para recuperarse, en cambio la componente viscosa (G'') es la encargada de disipar la energía a las capas inferiores, es por ello que el estado ideal del asfalto es cuando estas componentes son iguales en magnitud (ángulo de fase es 45°), ya que la componente elástica absorbe solo la energía necesaria para recuperarse de la deformación sufrida por el estrés y libera la energía que no necesita hacia las capas inferiores por medio de la componente viscosa. Este interesante punto donde las componentes son iguales y el ángulo de fase es 45° es el punto de fusión del asfalto y observando la figura 1, nos damos cuenta que es el punto de partida hacia la izquierda o hacia un incremento de temperatura de un comportamiento como líquido visco-elástico hasta comportarse como líquido viscoso y observamos que en este sentido la componente viscosa siempre es mayor que la elástica, en cambio, si nos desplazamos hacia la derecha disminuyendo la temperatura partiendo del punto de fusión tenemos un comportamiento del asfalto como sólido visco-elástico hasta alcanzar el comportamiento de un sólido rígido y es precisamente en esta zona donde se manifiestan los problemas de fisuración debido a este comportamiento como sólido elástico que se va agravando hasta un comportamiento como sólido rígido debido a la disminución de la temperatura, es por ello que la especificación del grado PG

norma AASHTO M-320 cae en una contradicción al establecer que el parámetro de control de fisuración por fatiga queda limitado al valor de $[G^* \sin \delta]$ a un máximo de 5,000 KPa, siendo este el valor la componente viscosa y para evitar los problemas de fisuración por fatiga lo que más deseamos es que la componente viscosa ($G''=G^* \sin \delta$) sea mayor que la componente elástica ($G'=G^* \cos \delta$) para que el asfalto se comporte como un líquido altamente visco-elástico. En la figura 2, podemos observar como podemos calcular el punto de fusión del asfalto graficando la componente elástica y la componente viscosa en función de la temperatura utilizando el reómetro de corte dinámico con la geometría de 8mm, una frecuencia de 10 radianes por segundo y una deformación constante del 1.0%.

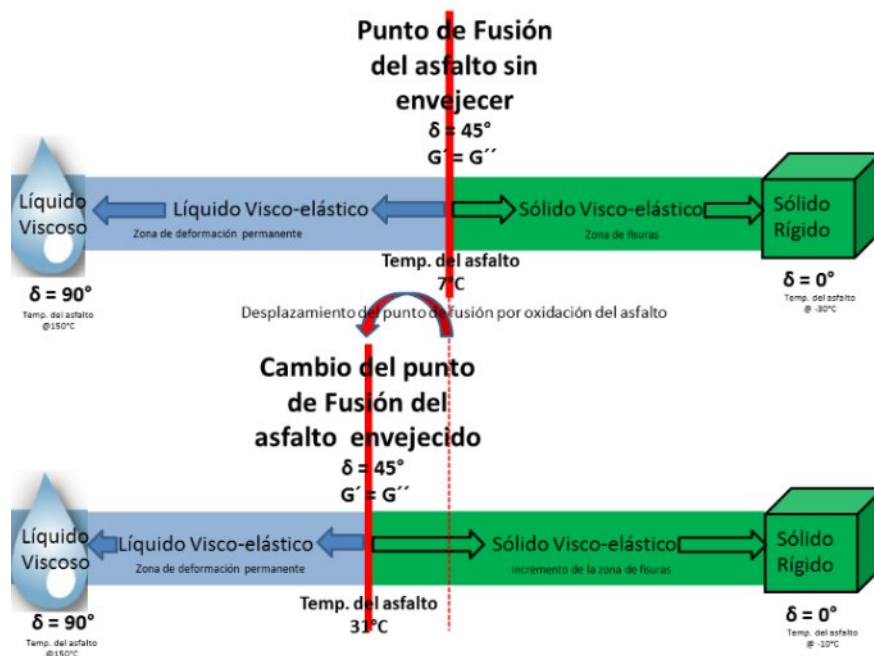
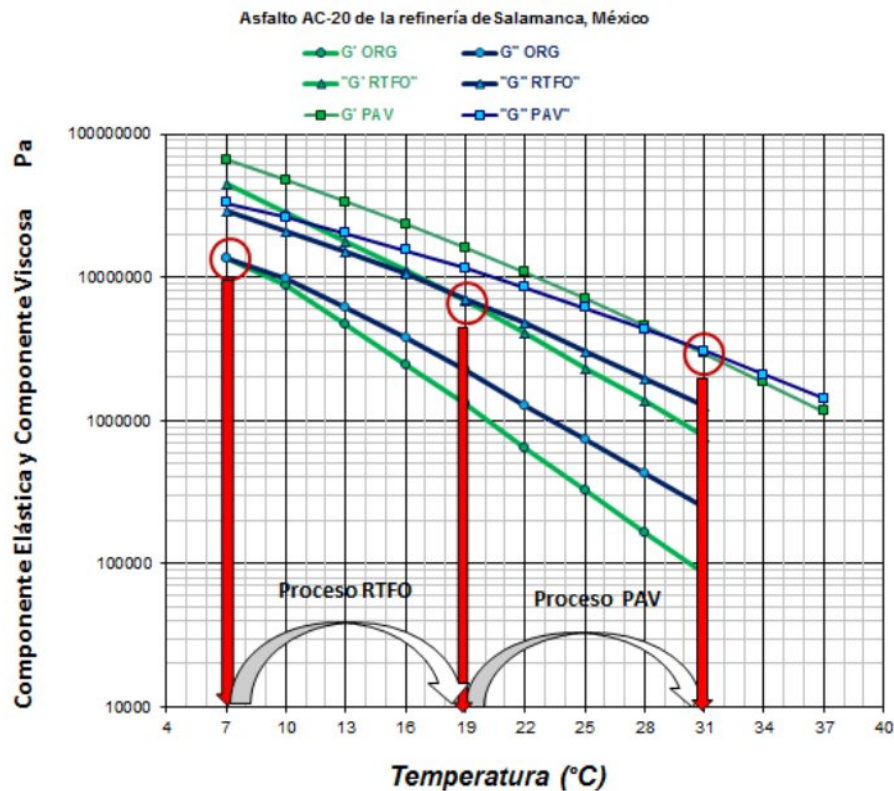
Figura 2: Determinación del punto de fusión del asfalto por medio de las componentes elástica y viscosa del asfalto.



Como ya la mencionamos anteriormente, el asfalto es un compuesto orgánico que reacciona con el oxígeno aumentando su rigidez y su temperatura de fusión. La velocidad de oxidación se ve enormemente favorecida con el aumento de temperatura, es decir, cuando el asfalto es calentado a altas temperaturas para poder mezclarse con el agregado formando la mezcla asfáltica que después es colocada y compactada, este aumenta aproximadamente el doble o el triple su temperatura de fusión (esto lo observamos al graficar las componentes elástica y viscosa después de la prueba de RTFO AASHTO T 240-06) y aumenta hasta cuatro veces después de la prueba de envejecimiento a largo plazo (PAV AASHTO R28-06). La figura 3 muestra el aumento del punto de fusión del asfalto, partiendo de 7°C (original) y conforme sufre la oxidación en las pruebas de RTFO y PAV aumenta a 19°C y 31°C respectivamente.

Los problemas de fisuración por fatiga ocurren por debajo de la temperatura del punto de fusión del asfalto después de PAV, es decir, por debajo de 31°C el asfalto se comporta como un sólido y aunque este sea elástico después de varios esfuerzos finalmente se romperá. En este estudio utilizamos un aditivo químico base aminas grasas capaz de evitar que el punto de fusión del asfalto aumente conforme se oxida.

Figura 3: Determinación del punto de fusión del asfalto original, después de RTFO y después de PAV por medio de las componentes elástica y viscosa.





PROGRAMA EXPERIMENTAL

En la primera etapa de este estudio, se determinó la importancia que representa el punto de fusión del asfalto en la aparición de fisuras utilizando la técnica de estresar a el asfalto después de ser oxidado mediante las pruebas de RTFO y PAV bajo ciclos repetitivos a una deformación constante de 10%, a una frecuencia de 10 rad/seg y durante un periodo de tiempo determinado.

En la segunda etapa se estableció una correlación entre el punto de fusión del asfalto después de la pruebas de oxidación y el grado PG inferior (norma AASHTO M-320-10).

En la tercera etapa se adicionó a el asfalto un aditivo químico base poliaminas grasas capaz de evitar que aumente el punto de fusión del asfalto con el proceso de oxidación y fue realizada una aplicación en una calle de la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México evaluando después de tres años la aparición de fisuras por fatiga.

RESULTADOS

En la determinación de la importancia que representa el punto de fusión del asfalto, se utilizó una muestra promedio representativa del asfalto que más se utiliza en México, los resultados de los parámetros de control de calidad del mismo son mostrados en la tabla 1.

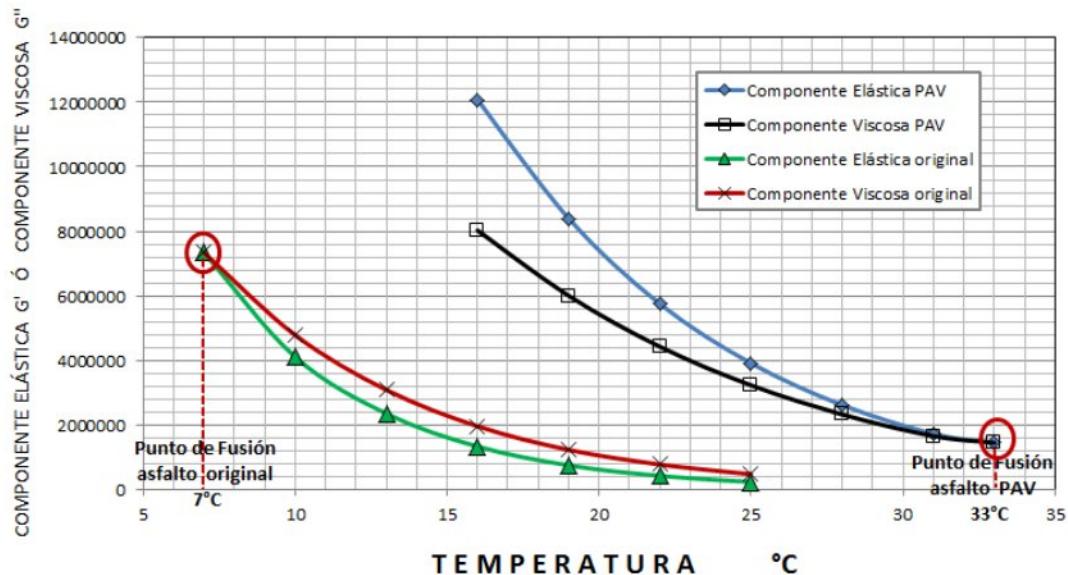
Tabla 1: Evaluación del grado de comportamiento del asfalto AC-20 de Salamanca (PG 64 –16)

Propiedades reológicas del Asfalto AC-20 de la refinería de Salamanca	Condición de envejecimiento	Resultado AC-20 (Salamanca)	Requisito AASHTO M-320
Punto de inflamación	Sin envejecimiento	275°C	230°C, mín.
Viscosidad a 135°C	Sin envejecimiento	0.492 Pa s	3 KPa, máx.
Módulo de corte dinámico entre ángulo de fase. $G^* / \text{sen } \delta$ a la temperatura de 64°C	Sin envejecimiento	1.500 KPa	1.00 KPa, mín.
Pérdida de masa	RTFO	-1.12%	1.00%, máx.
Módulo de corte dinámico entre ángulo de fase $G^* / \text{sen } \delta$ a la temperatura de 64°C	RTFO	6.575 KPa	2.20 KPa, mín.
Módulo de corte dinámico por ángulo de fase $G^* \times \text{sen } \delta$ a la temperatura de 28°C	PAV	2328 KPa	5000 Kpa, máx.
Rigidez en creep “S” a la temperatura de -6°C	PAV	78 MPa	300 Mpa, máx
Valor m a la temperatura de prueba de -6°C	PAV	0.333	0.300, mín.

A esta muestra promedio representativa del asfalto AC-20 de la refinería de Salamanca se le determinó el punto de fusión original (antes de sufrir cualquier proceso de oxidación) y después

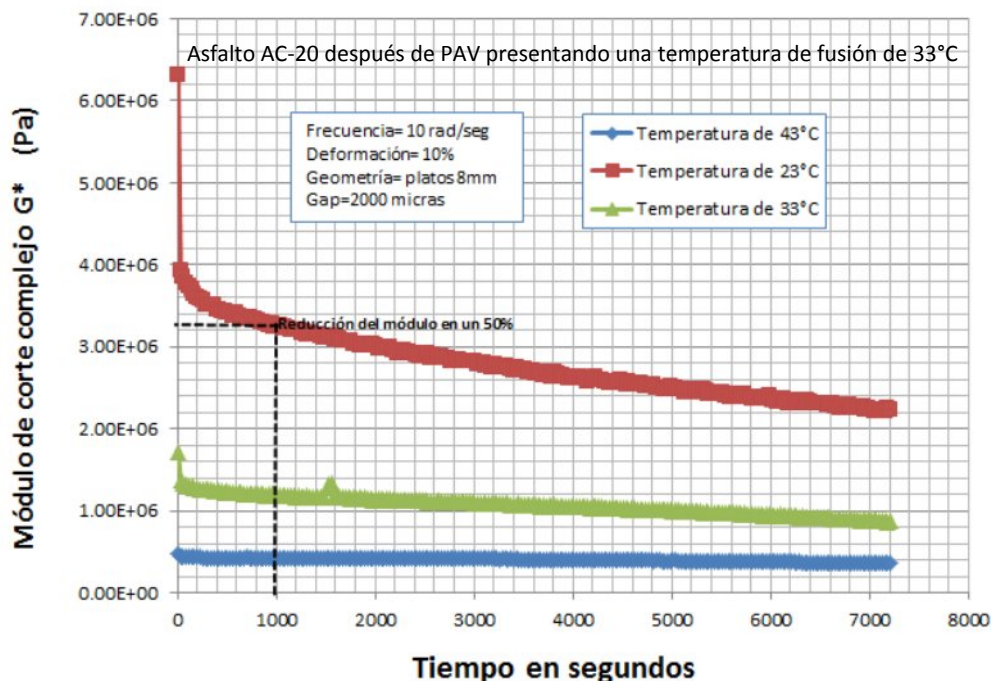
de los procesos de oxidación en RTFO (AASHTO T 240-06) y en PAV (AASHTO R28-06). Los resultados son mostrados en la figura 4, donde se observa que el punto de fusión del asfalto original es 7°C y después de las pruebas de oxidación en RTFO y PAV aumenta hasta 33°C.

Figura 4: Determinación del punto de fusión del asfalto AC-20 de Salamanca original y después de PAV por medio de las componentes elástica v viscosa.



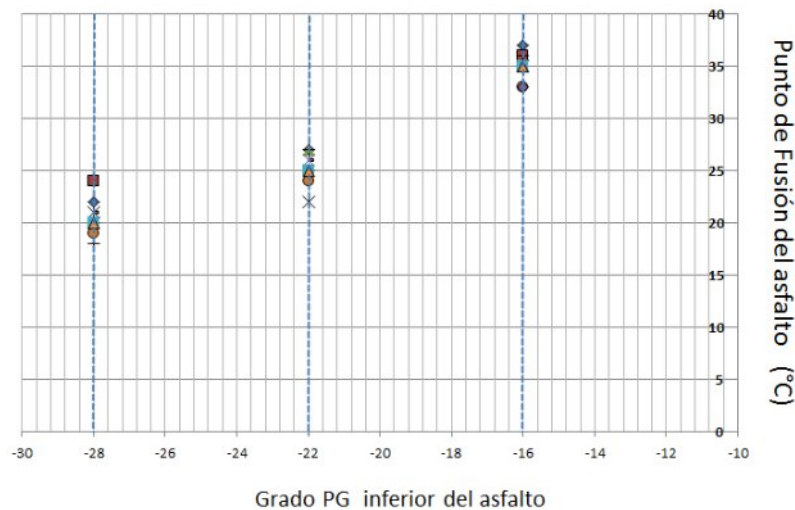
La figura 5 muestra el comportamiento del módulo de corte complejo del asfalto AC-20 de Salamanca después de ser estresado bajo ciclos repetitivos con una deformación constante de 10% y con una frecuencia de 10 rad/seg. Cuando el asfalto está a la temperatura de fusión (33°C) o por encima de esta (43°C), el módulo casi permanece constante, en cambio cuando el asfalto está por debajo del punto de fusión (23°C), el módulo disminuye en un 50% a los 1000 segundos.

Figura 5: Determinación del punto de fatiga utilizando el método clásico de la disminución del módulo al 50% considerando la temperatura de fusión del mismo.



La figura 6 muestra una correlación entre el punto de fusión de diferentes muestras de asfalto después de las pruebas de oxidación de RTFO y PAV y el grado PG inferior de los mismos, de tal forma que podríamos cambiar el parámetro de control de la fisuración por fatiga del método SUPERPAVE norma AASHTO M-320 " $G^*sen\delta$ " limitado a 5,000KPa como máximo, por el parámetro "Ángulo de fase" limitado a 45° (es cuando la componente elástica y viscosa son iguales o el punto de fusión) a la temperatura del ensayo, es decir, en esta gráfica de la figura 6 se observa que en los asfaltos PG-28, el ángulo de fase es igual a 45° a la temperatura promedio de 20°C, en los asfaltos PG-22 el ángulo de fase es igual a 45° a la temperatura promedio de 25°C y en los asfaltos PG-16 el ángulo de fase es igual a 45° a la temperatura promedio de 33°C.

Figura 6: Correlación entre el punto de fusión del asfalto (ángulo de fase igual a 45°) después de PAV y el grado PG inferior del asfalto.



Basándonos en los resultados de este estudio, donde un asfalto será más resistente a la fisuración por fatiga entre más baja sea la temperatura de su punto de fusión después de haber sido oxidado utilizando las pruebas de RTFO y PAV, se desarrolló un aditivo químico base aminas grasas capaz de lograr que el punto de fusión del asfalto aumente solamente 5 grados centígrados después de las pruebas de oxidación, es decir, a esta muestra de asfalto AC-20 de Salamanca con un punto de fusión de 7°C sin envejecer y después de PAV con un punto de fusión de 33°C, se le adicionó la amina grasa logrando que el punto de fusión después de la prueba de RTFO y PAV llegará a 13°C en lugar de los 33°C, haciendo un asfalto más resistente a los problemas de fisuración por fatiga. Este asfalto con el aditivo y bajo punto de fusión, fue mezclado con agregado basáltico formando una mezcla asfáltica aplicada en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México, en la calle de Juan Álvarez entre las avenidas Federalismo y Enrique Díaz de León. Esta carpeta de 4cm de espesor, se aplicó sobre una base con bajo nivel de soporte estructural. Esta carpeta después de 3 años de haber sido aplicada no presenta ninguna fisura debido a la utilización de este aditivo que evitó que el punto de fusión del asfalto aumentará hasta 33°C después de las pruebas de oxidación, quedando solamente en 13°C, además este aditivo permitió reducir la temperatura de compactación de la mezcla asfáltica de 145°C a 105°C ayudando a evitar la

oxidación del asfalto en esta etapa. La figura 7 muestra la calle de Juan Álvarez pavimentada con este asfalto aditivado sin presentar ningún problema de fisura después de 3 años y es comparada con una calle que fue pavimentada al mismo tiempo pero utilizando el asfalto AC-20 de Salamanca sin ningún aditivo presentado graves problemas de fisuración por fatiga.

Figura 6: Aplicación de una carpeta asfáltica en la ciudad de Guadalajara utilizando un asfalto sin y con aditivo que evita el aumento de la temperatura del punto de fusión.



Asfalto con aditivo con un punto de fusión de 13°C después de PAV



Asfalto AC-20 de Salamanca con un punto de fusión de 33°C después de PAV

CONCLUSIONES

La probabilidad de una fisuración por fatiga de una mezcla asfáltica es mucho mayor si está a una temperatura menor del punto de fusión del asfalto a que si está a una temperatura mayor del punto de fusión del mismo.

El punto de fusión del asfalto aumenta conforme se va oxidando y es por ello que la fisuración por fatiga de la mezcla asfáltica ocurre con asfaltos oxidados ó envejecidos.

Es posible disminuir el problema de fisuración por fatiga utilizando aditivos químicos que eviten que aumente el punto de fusión del asfalto debido a la reacción de oxidación del mismo.

Debe de determinarse el punto de fusión del asfalto para determinar la temperatura de prueba de cualquier metodología para evaluar el daño de fisuración por fatiga, considerando que si estas se hacen por debajo del punto de fusión la fatiga se presentará con mayor rapidez.

REFERENCIAS

H. Soenen, C. De La Roche, P. Redelius. Predict Mix Fatigue Test From Binder Fatigue Properties Measured With DSR.

Asphalt Binder Testing. Asphalt Institute. Manual Series no.25 (MS-25).

Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas de Superpave. Instituto del Asfalto de U.S.A.

Development of a Strain Sweep Test to Assess Fatigue of Asphalt Binders. Ramon Botella Nieto.
Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder AASHTO M320-10.