

COMO REDUCIR LA RIGIDEZ Y FRAGILIDAD DEL ASFALTO DEBIDA A LA OXIDACIÓN DEL MISMO

Álvaro Gutiérrez Muñiz

QuimiKao S.A. de C.V., El Salto, Jalisco, México. agutierrez@kao.com

Resumen

La mezcla asfáltica es un material compuesto por asfalto y 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, pero 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 del asfalto comienza en la etapa de mezclado, compactación y colocación de la mezcla asfáltica y continúa por toda la etapa de servicio de la misma. Una mezcla asfáltica conteniendo un asfalto rígido y frágil es propensa a la formación de fisuras por fatiga y es ahí por donde penetra el agua a la base causando graves daños en el pavimento disminuyendo la durabilidad del mismo, es por ello que es necesario reducir la rigidez y fragilidad del asfalto debida a la oxidación y en este estudio se propone un aditivo químico que adicionado a el asfalto reduce la rigidez y fragilidad del mismo. La selección del mejor aditivo químico es llevada a cabo mediante el estudio de diversas propiedades reológicas tanto del asfalto original como del envejecido por los procesos de oxidación utilizando el método de prueba de la Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO), AASHTO T240 y el método de envejecimiento a presión PAV (AASHTO R28-06) y claramente se puede observar como el aditivo propuesto en este estudio evita la rigidez del asfalto debida a la oxidación.

Palabras Clave: Oxidación, Rigidez, Fragilidad, Ductilidad, Módulo de Corte Complejo.

1 Introducción

La mezcla asfáltica en caliente es un material compuesto por un 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 pavimentos flexibles. 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 y el resultado es una estructura más rígida y frágil y es la razón del término endurecimiento por oxidación o por envejecimiento. Una considerable parte del endurecimiento por oxidación del asfalto ocurre durante el proceso de mezclado en caliente y durante la etapa de colocación y compactación de la mezcla asfáltica; en estos procesos se emplea una alta temperatura y el asfalto se encuentra adherido al agregado en forma de una película muy delgada que esta en contacto con grandes cantidades de oxígeno por lo que la reacción de oxidación ocurre a una velocidad mayor comprándola con la velocidad de oxidación a la temperatura de servicio del pavimento. Otro tipo de endurecimiento del asfalto ocurre durante el mezclado y construcción de la mezcla asfáltica en caliente y durante la vida de servicio de la mezcla asfáltica; se denomina “volatilización”, a altas temperaturas los compuestos volátiles del asfalto se evaporan ocasionado una estructura más rígida. Para la evaluación en el laboratorio del envejecimiento del asfalto durante el proceso de mezclado, colocación y compactación de las mezclas asfálticas además de la volatilización, se utiliza la prueba

de la Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO “Rolling Thin Film Oven Test”), AASHTO T240, ASTM D2872.

Existe otro tipo de endurecimiento del asfalto debido a la oxidación del mismo que ocurre en la vida de servicio del pavimento flexible que ocurre a una velocidad relativamente baja y 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 el verano que en el invierno. Debido a este tipo de endurecimiento, los pavimentos viejos son más susceptibles al agrietamiento que los nuevos, pero incluso, los pavimentos asfálticos nuevos pueden ser propensos a este fenómeno si no se compactan adecuadamente y 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), para simular este envejecimiento con el transcurso del tiempo Superpave creo una prueba de laboratorio utilizando la cámara de envejecimiento a presión “PAV “ (Pressurized Aging Vessel AASHTO R28-06), este ensayo expone las muestras del asfalto 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 previamente son 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 y frágil que ofrecerá baja resistencia a la fatiga, por ello SUPERPAVE controla el agrietamiento por fatiga limitando el valor de “ G^* sen δ ” del asfalto envejecido a presión en el PAV a un máximo de 5000 KPa, a la temperatura de ensayo (técnica AASHTO T 315), y para evaluar la resistencia de este asfalto envejecido a bajas temperaturas propone el parámetro de una máxima de rigidez del mismo de 300 MPa y un valor absoluto de la pendiente “m” de 0.300 (este valor es la pendiente en el segundo 60 de la gráfica de la rigidez contra tiempo según técnica AASHTO T 313-06.) y todos estos parámetros de control se encuentran especificados en la norma AASHTO M-320.

Las pruebas de RTFO y PAV oxidan el asfalto bajo una condición constante de laboratorio y solamente son un indicativo de lo que se puede oxidar el asfalto en condiciones reales dado que cada mezcla asfáltica está sometida a diferentes condiciones de fabricación y ambientales tales como temperatura, tiempo de exposición a los rayos UV, latitud y otras más. En este estudio se evalúa como aumenta la rigidez, fragilidad y otras propiedades reológicas del asfalto con y sin aditivos en función de la oxidación del mismo, pero solamente oxidándolo en las pruebas de RTFO y PAV, no se consideran otras pruebas y formas de oxidación.

Existen otras formas de identificar la oxidación del asfalto, tales como la evaluación de sus propiedades químicas y así a el asfalto original (recién salido de refinería) se detecta la presencia del grupo químico Sulfóxido y después del envejecimiento en el RTFO se observa un aumentando de concentración de este grupo así como también se observa un nuevo incremento después del ensayo en el PAV en la concentración de Sulfóxidos, pero se cuantifica la aparición del grupo carbonilo. Esta aparición del incremento en la concentración de este grupo funcional es una evidencia de oxidación del asfalto y una prueba contundente de que las pruebas de RTFO y PAV son capaces de oxidar el asfalto, más sin embargo en este estudio no se hace esta medición, únicamente se evalúan las propiedades reológicas del asfalto original, después de RTFO y después de PAV.

1.1 Incremento del módulo del asfalto después de las pruebas de RTFO y PAV en función de la temperatura.

El módulo del asfalto es muy susceptible a la temperatura, a 150°C el asfalto presenta la consistencia de un líquido viscoso como el aceite presentando una resistencia a ser deformado (Viscosidad) de @0.3 Pa s, a 60°C presenta una resistencia a ser deformado (módulo) de @1.0 KPa y a -30°C presenta una resistencia a ser deformado (Rigidez) de @300MPa, con estos datos nos damos una idea de la susceptibilidad térmica del asfalto y de la importancia que tiene la temperatura en cualquier evaluación del módulo del asfalto, por lo tanto hay que ser muy estrictos con esta medición utilizando termómetros calibrados y con alta precisión.

El asfalto a temperaturas entre 110° y 150° muestra la consistencia de un líquido viscoso y una manera de medir su resistencia a ser deformado es por medio de la medición de la viscosidad, está resistencia que presenta el asfalto a ser deformado es debida a la fricción generada entre sus moléculas, en la gráfica de la figura 1 se muestra el incremento de la viscosidad del asfalto AC-20 después de las pruebas de RTFO y PAV en el rango de temperaturas desde 80° a 150°C.

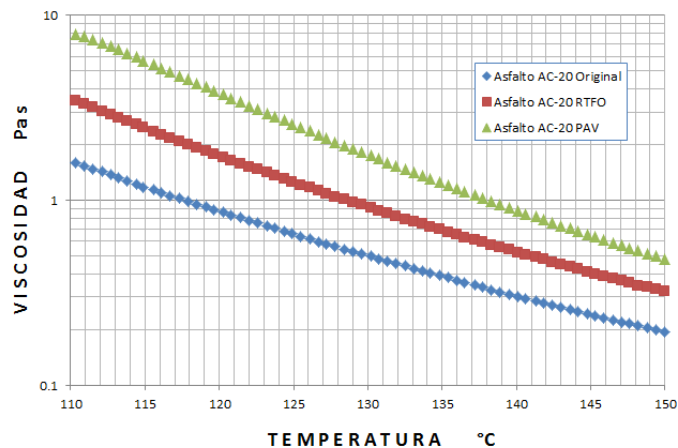


Figura 1. Incremento de la viscosidad del asfalto después de las pruebas de RTFO y PAV en el rango de temperaturas entre 80°C y 150°C.

El asfalto a temperaturas entre 4° y 90°C muestra la consistencia de un material visco-elástico y una manera de medir su resistencia a ser deformado (rigidez) es por medio de la medición del Módulo Complejo de Corte Dinámico (G^*) utilizando un barrido de temperatura a frecuencia constante de 10 rad/seg y una deformación de 12% para el asfalto original, de 10% para el asfalto después de RTFO y de 1% para el asfalto después de PAV, en la gráfica de la figura 2 se muestra el incremento del Módulo Dinámico de Corte Complejo después de las pruebas de RTFO y PAV en el rango de temperaturas entre 4° y 90°C, en esta gráfica podemos observar que a altas temperaturas ocurre una mayor diferencia entre módulos.

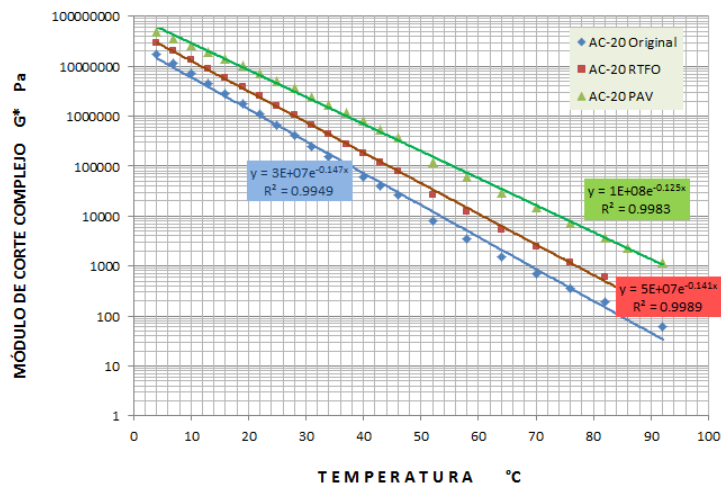


Figura 2. Incremento del Módulo Complejo de Corte Dinámico del asfalto (G^*) después de las pruebas de RTFO y PAV en el rango de temperaturas entre 4°C y 90°C.

En la gráfica de la figura 3 podemos apreciar que el Módulo Complejo " G^* " del asfalto original aumenta @20 veces después de ser oxidado en la prueba PAV a temperaturas entre 64° y 82°C, pero a temperaturas entre 4° y 20°C solo cambia aproximadamente 5 veces, esto es, a menor temperatura existe un menor cambio de la rigidez del asfalto debida a la oxidación.

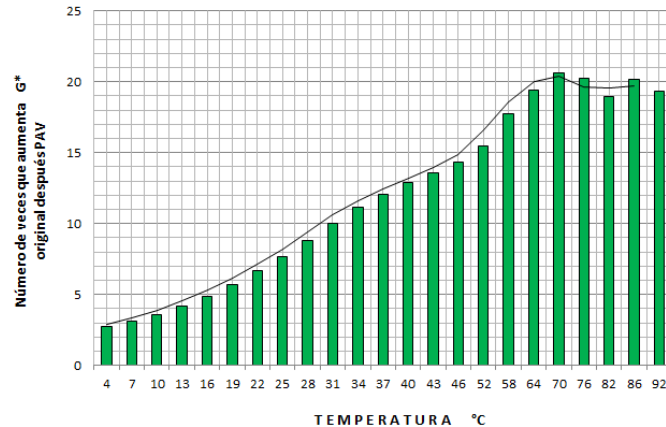


Figura 3. Número de veces que aumenta el Módulo Complejo de Corte Dinámico (G^*) del asfalto original después de la prueba PAV.

El asfalto es un material visco-elástico debido a que exhibe un comportamiento viscoso (fluye ante una carga y pierde su forma original) y un comportamiento elástico (se deforma ante una carga y recupera su forma original) al mismo tiempo; cuando la componente elástica y la viscosa son iguales en magnitud, el ángulo de fase es 45° representando un punto de transición “SOL-GEL” (SOL=líquido, GEL=sólido y algunos autores lo denominan punto de fusión). Como ya la mencionamos anteriormente, el asfalto es un compuesto orgánico que reacciona con el oxígeno aumentando su rigidez y su temperatura de transición “SOL-GEL”. 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 del punto de transición (esto lo observamos al graficar las componentes elástica y viscosa después de la prueba de RTFO) y aumenta hasta cuatro veces después de la prueba de envejecimiento a largo plazo (PAV). La gráfica de la figura 4 muestra el aumento del punto de transición del asfalto AC-20, partiendo de 9°C (original) y conforme sufre la oxidación en las pruebas de RTFO y PAV aumenta a 18° y 36°C respectivamente.

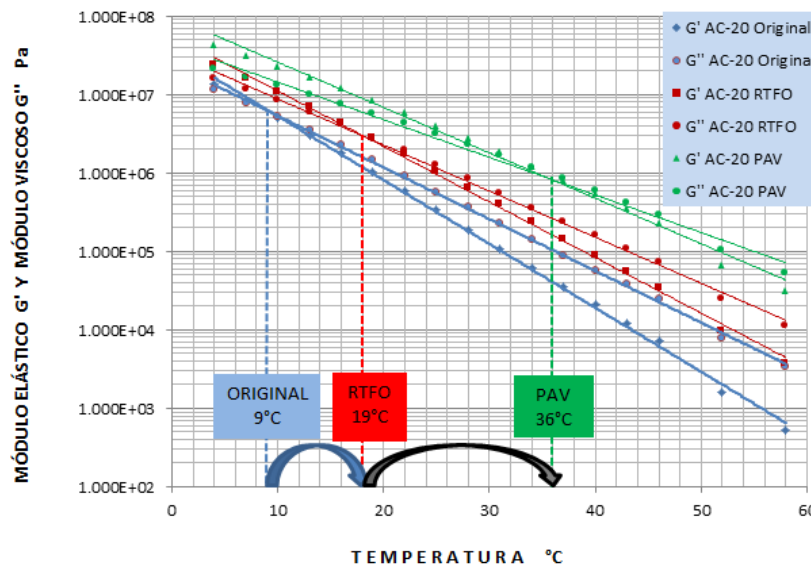


Figura 4. Incremento del Punto de Transición SOL-GEL del asfalto (temperatura donde $\delta=45^\circ$ o $G'=G''$ o $\tan \delta=1$) original, después de RTFO y después de PAV.

En la tabla 1 podemos observar que de los módulos complejo, elástico y viscoso aumentan al disminuir la temperatura y conforme se oxida el asfalto después de las pruebas de RTFO y PAV. Al

analizar el número de veces que cambian estos módulos (estado PAV / estado Original) observamos que la relación $G' \text{ PAV} / G' \text{ Original}$ es la que más cambia, es decir, la componente elástica G' es la que más aumenta conforme se oxida el asfalto haciéndolo más rígido y la relación que menos cambia es la $G'' \text{ PAV} / G'' \text{ Original}$ indicándonos que la componente viscosa encargada de disipar la energía no aumenta tanto en proporción a la elástica ocasionando un asfalto más frágil.

Tabla 1. Relación de aumento de los módulos complejo, elástico y viscoso entre el asfalto AC-20 original y después de PAV

Temperatura (°C)	Original	RTFO	PAV	Veces que cambia
Módulo de Corte Complejo G^*				
				$G^* \text{ PAV} / G^* \text{ Original}$
4	1.76E+07	3.42E+07	4.86E+07	2.76
10	7.04E+06	1.70E+07	2.91E+07	4.13
20	1.32E+06	4.45E+06	9.40E+06	7.13
30	3.12E+05	9.71E+05	2.90E+06	9.29
40	56370	1.66E+05	7.63E+05	13.54
50	11400	43500	1.89E+05	16.56
Módulo Elástico G' (Pa)				
				$G' \text{ PAV} / G' \text{ Original}$
4	12440000	26240000	41490000	3.33
10	4443000	12100000	23820000	5.36
20	691400	2766000	6962000	10.06
30	134900	543000	2079000	15.41
40	17950	73380	466700	26.00
50	2569	16300	100800	39.23
Módulo Viscoso G'' (Pa)				
				$G'' \text{ PAV} / G'' \text{ Original}$
4	1.13E+07	1.88E+07	2.14E+07	1.90
10	5.14E+06	1.03E+07	1.37E+07	2.67
20	1.08E+06	3.10E+06	5.29E+06	4.91
30	2.78E+05	7.78E+05	1.90E+06	6.82
40	53020	1.43E+05	5.60E+05	10.56
50	11240	40290	1.52E+05	13.48

Hemos demostrado como el módulo del asfalto (rigidez) aumenta conforme la temperatura disminuye y conforme el asfalto es oxidado, ahora demostraremos como aumenta la fragilidad del mismo por medio de la medición de la región visco-elástico lineal (LVR) propia del asfalto a una determinada temperatura y condición de envejecimiento utilizando el Reómetro de Corte Dinámico sometiendo una muestra de asfalto a una temperatura y una frecuencia (10 rad/s) constantes y haciendo un barrido de deformación hasta que su módulo elástico (componente elástica G') comienza a fracturarse o romperse (la norma ASTM D 7175 considera el límite de la Región Visco-Elástica Lineal (LVE) hasta donde el Módulo Elástico varía un 10%) tal cual como un resorte elástico que conforme lo deformamos aplicamos más fuerza llegando hasta una elongación donde se rompe siendo esta deformación el límite elástico del mismo. En la gráfica de la figura 5 podemos observar como la región visco-elástica lineal (LVR) se ve reducida conforme disminuye la temperatura en una proporción logarítmica lineal y además podemos observar que a temperaturas menores a 30°C el comportamiento del asfalto presenta una ruptura frágil.

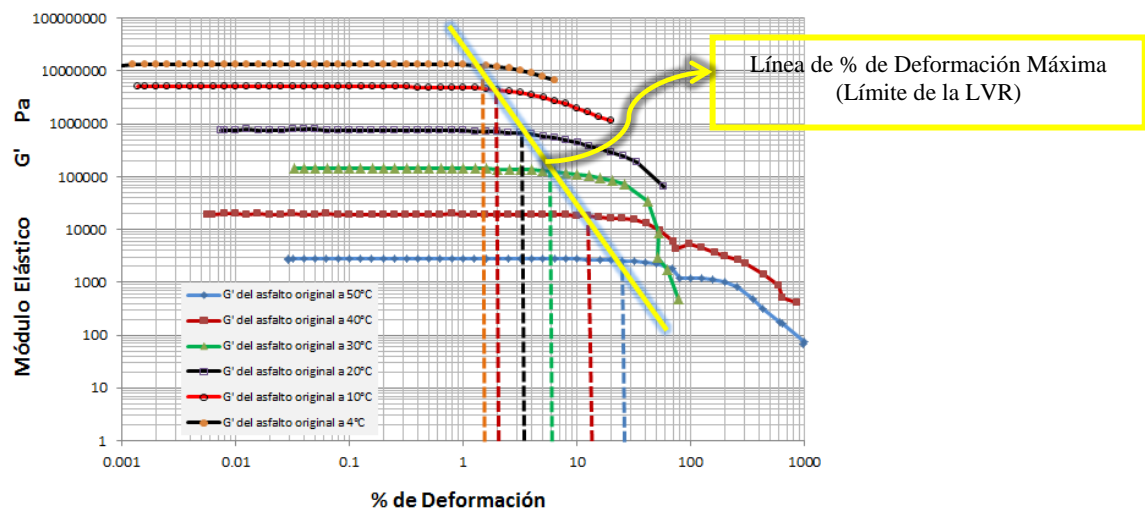


Figura 5. Disminución del rango visco-elástico lineal del asfalto AC-20 original conforme disminuye la temperatura.

En la anterior gráfica de la figura 5 podemos observar que la línea recta de color amarillo nos indica como la deformación máxima del asfalto original (% de deformación del asfalto que define el límite del rango visco-elástico lineal del mismo) disminuye con la temperatura y a su vez como aumenta el módulo elástico indicándonos un comportamiento más rígido y frágil a bajas temperaturas.

En la gráfica de la figura 6 podemos observar como la deformación máxima del asfalto disminuye conforme disminuye la temperatura y también conforme se oxida el asfalto, así que a la temperatura de 50°C el asfalto original presenta una deformación máxima del 25% y a 4°C de tan solo 1.6%, pero a 20°C presenta una deformación baja de 2.52% así como también a esta temperatura después de RTFO y PAV, esto nos indica que el asfalto presenta bajas deformaciones (baja ductilidad) por debajo de los 20°C independientemente si es oxidado o no con las pruebas de RTFO y PAV (zona color azul en la gráfica 7).

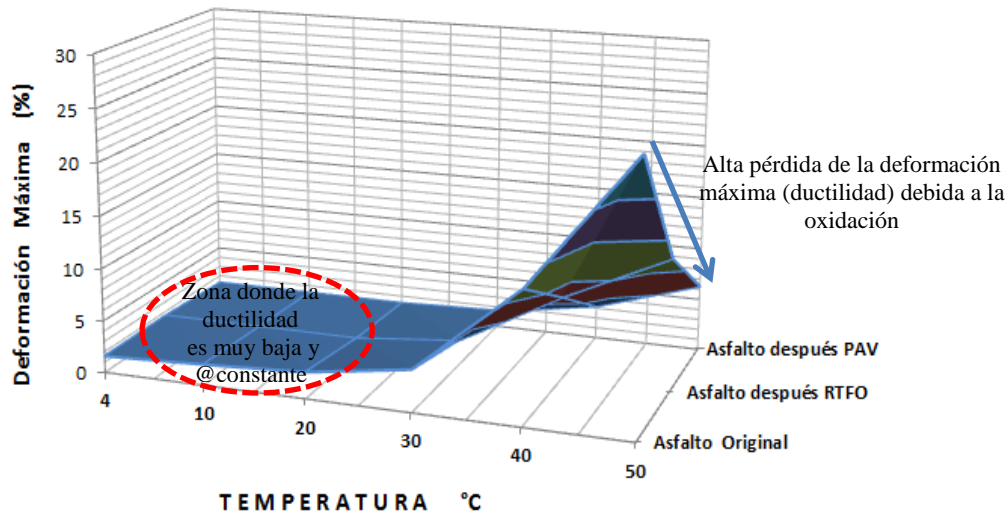


Figura 6. Disminución de la deformación máxima (límite de la región visco-elástica lineal) del asfalto AC-20 original, después de RTFO y PAV conforme se disminuye la temperatura.

En la gráfica de la figura 7 podemos apreciar que el módulo elástico del asfalto G' y la deformación máxima (límite de la región visco-elástica lineal) cambian más a altas temperaturas (entre 40° y 50°C) que a bajas temperaturas (entre 4° y 20°C) indicándonos que el asfalto conforme se oxida se hace más resistente a la deformación permanente pero en cuanto a la fisuración por fatiga podemos decir que el asfalto prácticamente por debajo de los 20°C no se hace menos resistente debido a la oxidación pero entre 30°C y 50°C si se observa una pérdida grande de la deformación máxima y es por ello que la fisuración por fatiga ocurre a estas temperaturas después de que el asfalto es oxidado.

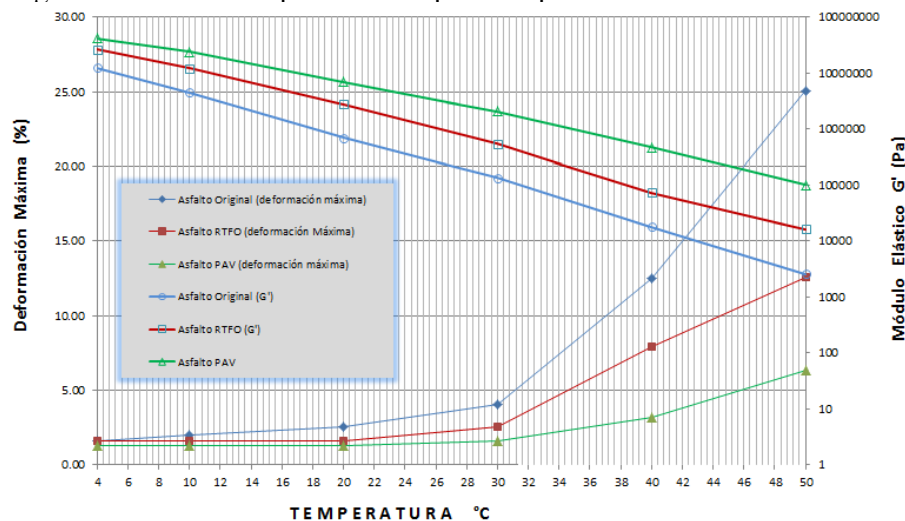


Figura 7. Disminución de la deformación máxima (límite de la región visco-elástica lineal) y aumento del módulo elástico G' del asfalto AC-20 original, después de RTFO y PAV conforme se disminuye la temperatura.

Utilizando los datos obtenidos en la prueba de la medición del rango visco-elástico lineal, podemos construir una nueva gráfica utilizando el stress aplicado en relación a la deformación obtenida y podemos apreciar que el stress aumenta conforme aumenta la deformación y después de pasar la deformación máxima (límite del rango visco-elástico lineal) la muestra de asfalto se rompe obteniendo así un punto de inflexión máximo. En la gráfica de la figura 8 podemos apreciar esto y además que el stress aumenta conforme disminuye la temperatura utilizando el asfalto AC-20 después de PAV.

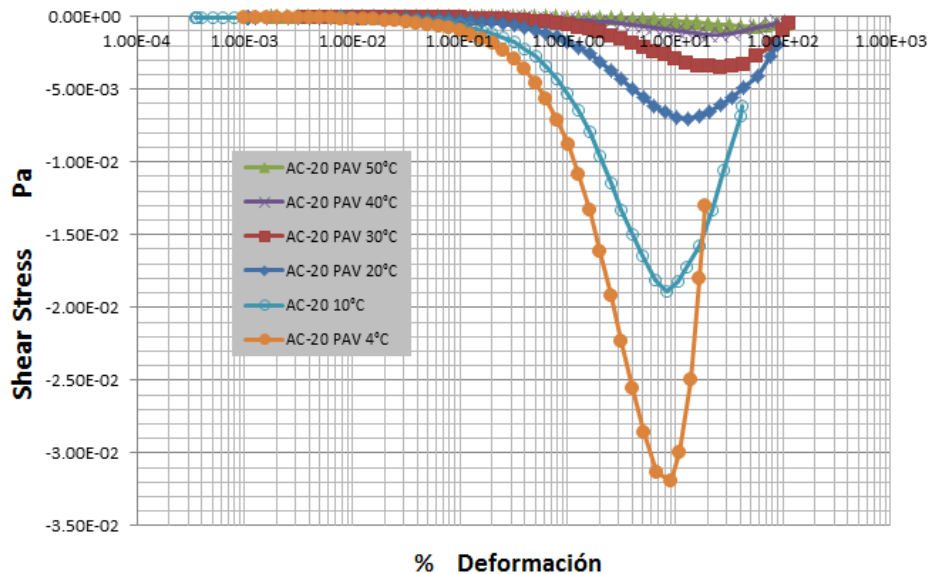


Figura 8. Aumento del stress conforme se aumenta la deformación del asfalto AC-20 después de PAV a diferentes temperaturas.

Finalmente en esta etapa del aumento del módulo en función de la temperatura, clasificamos el asfalto conforme a la norma AASHTO M 320-10, que se caracteriza por clasificar el asfalto en grados de comportamiento “PG” y para ello establece ciertos parámetros de control realizados con diferente pruebas que se caracterizan porque en todas ellas se estresa el asfalto dentro del rango visco-elástico lineal utilizando una frecuencia constante de 10 radianes por segundo, en la tabla 2 se muestran los resultados de los parámetros de control de calidad de esta norma y la clasificación PG del asfalto AC-20.

Tabla 2. Clasificación grado PG del asfalto AC-20 conforme la norma AASHTO M 320-10

Propiedades reológicas del Asfalto AC-20 de la refinería de Salamanca	Condición de envejecimiento	Resultado	Requisito AASHTO M-320
Viscosidad a 135°C	Sin	0.3926 Pa s	3 Pa s, máx.
“G* / sen δ” a la temperatura de 64°C	Sin	1.545 KPa	1.00 KPa, mín.
Pérdida de masa	RTFO	-0.58%	1.00%, máx.
“G* / sen δ” a la temperatura de 64°C	RTFO	5.509 KPa	2.20 KPa, mín.
“G* sen δ” a la temperatura de 25°C	PAV	4828 KPa	5000 KPa, máx.
Rigidez en creep “S” a la temp de prueba de -12°C	PAV	119 MPa	300 MPa, máx
Valor “m” a la temperatura de prueba de -12°C	PAV	0.306	0.300, mín.
Clasificación PG AASHTO M 320-10		64 -22	
Stiffness (rigidez) “S” a la temperatura de prueba de -24°C	Sin envejecimiento	312 MPa	-----
Valor m a la temperatura de prueba de -24°C	Sin envejecimiento	0.311	-----

En la anterior tabla 2 podemos observar que el asfalto AC-20 utilizado en este estudio es un asfalto grado PG 64 -22, pero si checamos el Stiffness (rigidez) y la pendiente “m” de este asfalto sin ninguna condición de envejecimiento vemos que el grado PG inferior es de -34 y si checamos el grado superior de este asfalto después de PAV vemos que es de 92, esto es, el asfalto a temperaturas altas cambia por la condición de oxidación en las pruebas de RTFO y PAV de PG 64 a PG 92 (5 grados PG más) y en cambio a bajas temperaturas solo cambia de PG -22 a PG -34 (2 grados PG menos).

1.2 Incremento del Módulo Complejo de Corte Dinámico del asfalto después de las pruebas de RTFO y PAV en función tiempo de carga, es decir en función de la “FRECUENCIA” aplicada.

Los resultados reológicos del asfalto AC-20 en el punto 1.1 se han obtenido utilizando una frecuencia constante de 1.59 Hertz (10 rad/seg) y lo que se ha variado es la temperatura debido a que si lo estipulan los métodos de AAHSTO y ASTM, pero sabemos que el asfalto también es susceptible a la frecuencia (tiempo de carga) comportándose como un líquido a bajas frecuencias (mucho tiempo de carga) y como un sólido a altas frecuencias (poco tiempo de carga) por lo que en la gráfica de la figura 9 se muestran los resultados de la variación del módulo complejo “G*” en función de la frecuencia reducida obteniendo así la curva maestra del Asfalto AC-20 Original, después de RTFO y después de PAV. Esta curva maestra se elabora mediante el desplazamiento horizontal de las isothermas (barrido de frecuencia a diferentes temperaturas) formando una curva única teniendo como base una isoterma de referencia, entonces la frecuencia de cada isoterma es multiplicada por un factor de desplazamiento que mueve esta hasta alcanzar a tocar los puntos de la isoterma de referencia, por lo que para poder entender como varía el módulo complejo del asfalto “G*” en función de la temperatura y frecuencia “ $G^* = f(\omega, T)$ ” a la curva maestra se le debe de adicionar la gráfica del factor de desplazamiento en función de la temperatura.

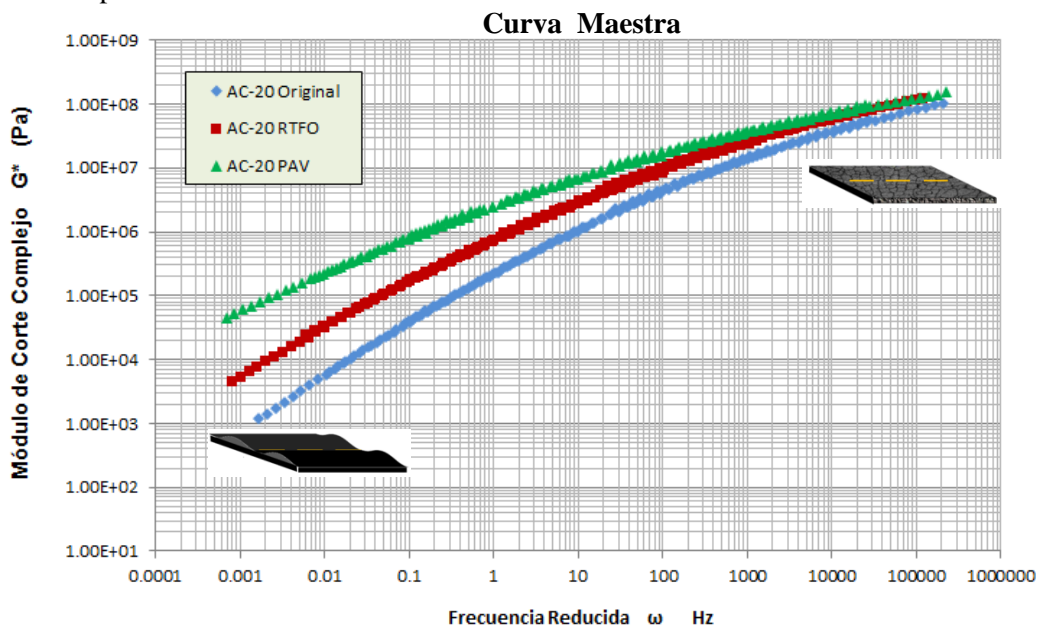


Figura 9. Variación del Módulo Complejo del Asfalto “G*” AC -20, Original, después de RTFO y después de PAV en función de la frecuencia figurada.

En esta gráfica de la figura 9 podemos observar que el Módulo Complejo del Asfalto AC-20 “G*” aumenta conforme aumenta la frecuencia y disminuye conforme disminuye la frecuencia, pero al igual que con la variación de la temperatura, el asfalto después de RTFO y PAV aumenta sustancialmente a bajas frecuencias (altas temperaturas) y a altas frecuencias (bajas temperaturas) este

aumento no es tan significativo por lo que concluimos que el problema de rodera se soluciona conforme se oxida el asfalto.

2 Desarrollo Experimental

El objetivo de este trabajo es demostrar el aumento de la rigidez (módulo) y fragilidad del asfalto AC-20 causado por la oxidación del mismo empleando las pruebas de RTFO y PAV, así como la evaluación de diferentes aditivos que evitan esta rigidez (aditivos anti-envejecimiento). Esta evaluación de estos aditivos se llevó a cabo utilizando diversas pruebas que nos indican claramente la rigidez y fragilidad del asfalto.

2.1 Aditivos empleados para evitar la rigidez y fragilidad del asfalto debida a la oxidación.

En este estudio se utilizaron varios tipos de aditivos “Anti-Envejecimiento” utilizados a nivel industrial y de laboratorio, cada uno de ellos fue mezclado con asfalto AC-20 para después ser evaluados con las pruebas indicadas en el punto 2.2. La dosis (respecto a el peso del asfalto) y tipos de aditivos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Aditivos “Anti-Envejecimiento” utilizados en este estudio

Aditivos (Nomenclatura Comercial)	Letra de identificación	Dosis (% respecto peso asfalto)
Mezcla Poliaminas	A	6
Furfural	B	6
Aceite Orgánico	B	6
Trimetilol Propano TMP	C	6
Bentonita	D	6
Aceite Aromático	E	6

2.2 Pruebas empleadas en la evaluación de la rigidez (módulo) y fragilidad del asfalto.

El asfalto modificado con los aditivos mostrados en la tabla 3 fue evaluado en forma original, después de RTFO y después de PAV utilizando las siguientes pruebas:

- 2.2.1 Clasificación del asfalto PG según norma AASHTO M-320-10 (ver tabla 2 y 4).
- 2.2.2 Aumento del Módulo Complejo en función de la temperatura (ver figura 2 y 11).
- 2.2.3 Determinación del punto de transición “Sol-Gel” (ver figura 4 y tabla 4).
- 2.2.4 Determinación del rango visco-elástico lineal “deformación máxima” (ver figura 5 y 7).
- 2.2.5 Comparación entre el stress aplicado y la deformación (ver figura 8 y 13).
- 2.2.6 Determinación de la rigidez empleando la curva maestra (ver figura 9 y 12).

3 Resultados

El asfalto AC-20 modificado con los aditivos mostrados en la tabla 3 fue evaluado en cuanto a su resistencia a disminuir su rigidez y fragilidad utilizando las pruebas mencionados en el punto 2.2.

3.1 Resultados comparativos entre los asfaltos modificados con los diferentes aditivos.

En la Figura 10 se muestran los resultados comparativos entre los diferentes asfaltos modificados con diferentes aditivos utilizando las pruebas mencionadas en el punto 2.2, en cada prueba se le dio la calificación de 6 al aditivo que más redujo la rigidez y de 1 al aditivo que menor redujo la rigidez, se puede apreciar claramente que el aditivo “A” que es una mezcla de poliaminas redujo la rigidez y fragilidad del asfalto debida a la oxidación del mismo utilizando las pruebas RTFO Y PAV.

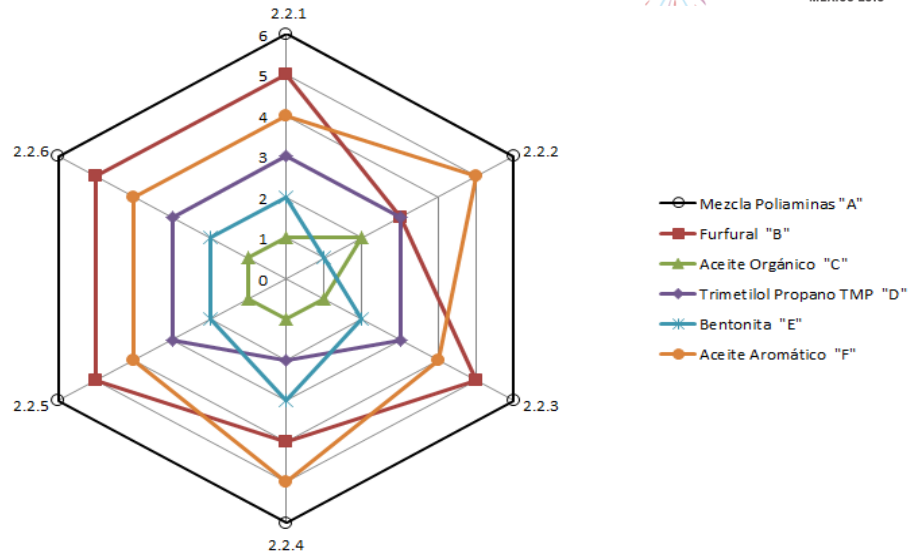


Figura 10. Gráfica comparativa entre asfaltos modificados con los aditivos utilizando las pruebas 2.2

3.1 Reducción de la rigidez a diferentes temperaturas utilizando el aditivo “A”.

En la gráfica de la Figura 11 se muestran la reducción del módulo de corte complejo “G*” del asfalto modificado con el aditivo “A” respecto a el asfalto AC-20 sin ningún aditivo original y después de la prueba de PAV.

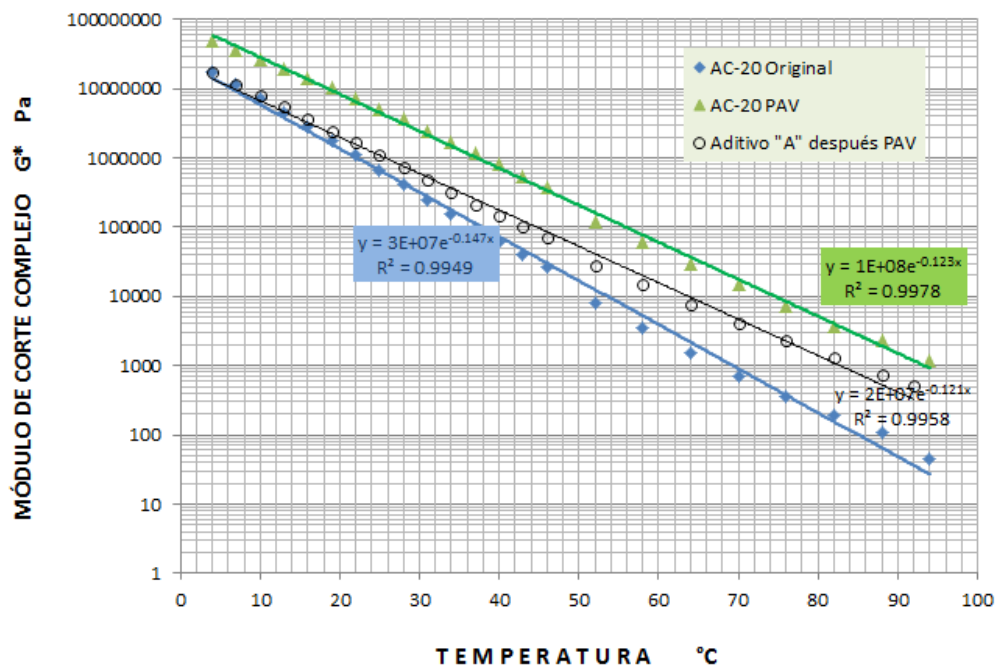


Figura 11. Disminución del Módulo Complejo de Corte Dinámico del asfalto (G*) del asfalto AC-20 con el aditivo “A” después de la prueba PAV en el rango de temperaturas desde 4° a 94°C

3.2 Clasificación del grado PG del asfalto AC-20 y de este modificado con el aditivo “A”

En la tabla 4 se muestra el grado PG del asfalto modificado con el aditivo “A” y del asfalto AC-20 sin ningún aditivo, podemos observar que el asfalto con el aditivo “A” tiene un grado PG inferior de

menos 34°C que es el mismo del asfalto AC-20 pero este sin ser sometido a ninguna prueba de oxidación (ver tabla 2 renglón sombreado).

Tabla 4. Clasificación grado PG del asfalto AC-20 con y sin el aditivo “A” conforme la norma AASHTO M 320

Propiedades reológicas del Asfalto AC-20 con y sin el aditivo “A”	Condición de envejecimiento	AC-20	AC-20 más aditivo “A”
Punto de inflamación	Sin	275°C	270°C
Viscosidad a 135°C	Sin	0.3926 Pa s	0.6251 Pa s
“G* / sen δ” a la temperatura de:	Sin	1.545 KPa (64°C)	1.295 KPa (70°C)
Pérdida de masa	RTFO	-0.58%	-0.60%
“G* / sen δ” a la temperatura de:	RTFO	5.509 KPa (64°C)	2.249 KPa (70°C)
“G* sen δ” a la temperatura de:	PAV	4828 KPa (25°C)	1200KPa (22°C)
Rigidez en creep “S” a la temperatura de prueba de:	PAV	119 MPa (-12°C)	209MPa (-24°C)
Valor “m” a la temperatura de prueba de:	PAV	0.306 (-12°C)	0.303 (-24°C)
Clasificación PG AASHTO M 320-10		64 -22	70 -34
Punto transición Sol-Gel (ver figura 5)	PAV	36°C	19°C

3.3 Curva Maestra comparativa entre el asfalto AC-20 y de este modificado con el aditivo “A”.

En la gráfica de la Figura 12 se muestra la variación del módulo de corte complejo “G*” del asfalto AC-20 original y después de PAV así como el de este más la adición del aditivo “A” después de PAV y podemos observar que este último después de PAV es similar al del AC-20 original, es decir, el aditivo “A” logro reducir la rigidez del asfalto debida a la oxidación.

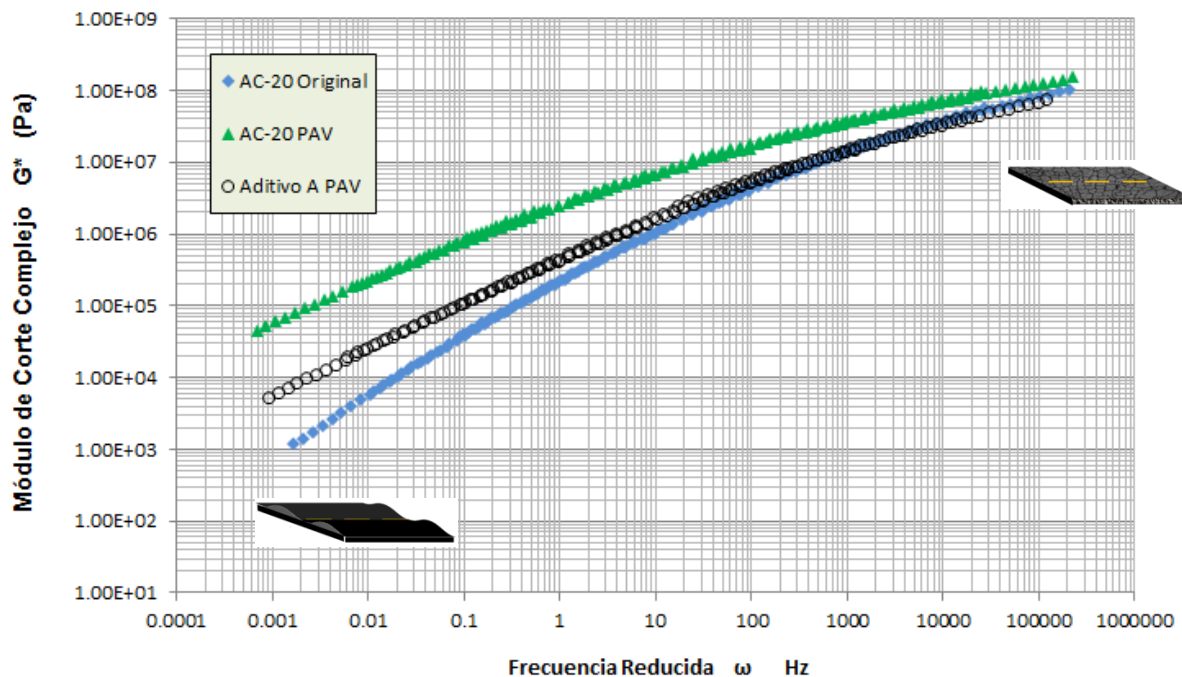


Figura 12. Variación del módulo de corte complejo “G*” del asfalto AC-20 original y después de PAV así como el de este más la adición del aditivo “A” después de PAV en el rango de temperaturas desde 4° a 90°C.

3.4 Disminución del stress aplicado para obtener la deformación máxima.

En la gráfica de la figura 13 podemos apreciar que se requiere de mucho menor cantidad de stress para deformar al asfalto con el aditivo “A” que con el asfalto AC-20 ambos después de PAV, incluso el asfalto con el aditivo “A” después de PAV es ligeramente más dúctil que el asfalto AC-20 original, es esta gráfica se aprecian los valores a 10°C pero en todas las temperaturas se presentó el mismo patrón de conducta, es decir, el asfalto con el aditivo “A” siempre fue más dúctil.

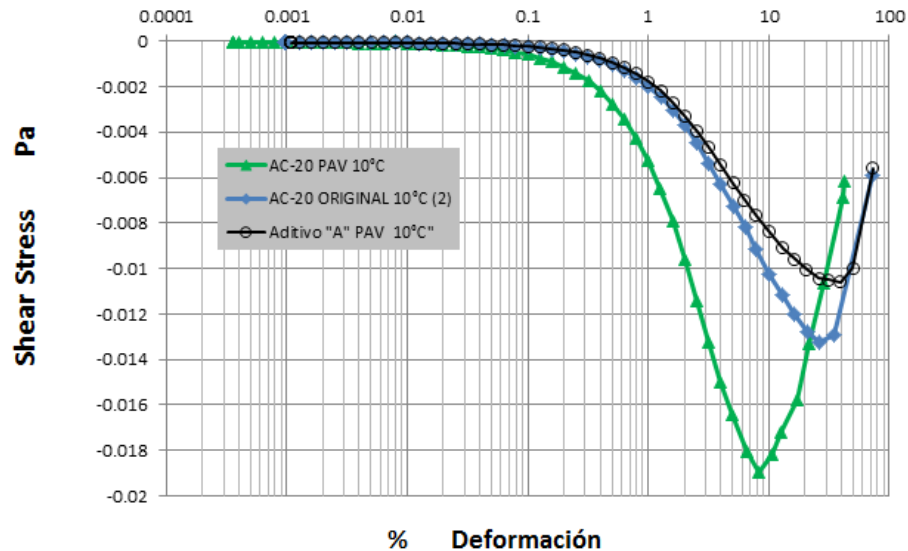


Figura 13. Esfuerzo de corte (Shear Stress) en función de la deformación del asfalto AC-20 original y después de PAV, así como la de este más la adición del aditivo “A” después de PAV.

4 Conclusiones

- El asfalto AC-20 aumenta su rigidez y fragilidad debido a la oxidación del mismo provocada utilizando las pruebas de RTFO (AASHTO T240) y PAV (AASHTO R28-06), esta rigidez es mucho más significativa a las temperaturas entre 30°C y 82°C.
- El asfalto AC-20 disminuye su rango de la región visco-elástica lineal (ductilidad) conforme disminuye la temperatura y con el aumento de la oxidación del mismo utilizando las pruebas de RTFO y PAV.
- El punto de transición “SOL-GEL” del asfalto AC-20 original es de 9°C y aumenta hasta 36°C después de la prueba de PAV aumentando la rigidez del mismo.
- El asfalto AC-20 después de PAV aumenta su módulo de corte complejo a bajas frecuencias haciendo un asfalto más resistente a la deformación permanente pero también aumenta su módulo a altas frecuencias haciendo en asfalto susceptible a la fisuración.
- La adición del aditivo “A” a el asfalto AC-20 disminuye la rigidez y fragilidad del mismo ya que después de las pruebas RTFO y PAV:
 - a) Se observó una disminución del módulo de corte complejo en el rango de temperaturas entre 4° y 94°C.
 - b) El grado PG según la norma AASHTO M320 fue de 70 -34.
 - c) El punto de transición “SOL-GEL” fue de 19°C.
 - d) Utilizando la curva maestra a bajas frecuencias presentó un menor módulo complejo.
 - e) Se observa un mayor rango visco-elástico lineal, es decir mayor ductilidad.