

ANÁLISIS REOLÓGICOS DE LAS PRINCIPALES FALLAS QUE EXPERIMENTA EL ASFALTO OBTENIDO A PARTIR DE MEZCLAS DE DOS COMPONENTES: UNO BLANDO TÍA JUANA MEDIANO (TJM-26) Y UN COMPONENTE DURO LAGOTRECO

RHEOLOGICAL ANALYSIS OF MAJOR FLACUS EXPERIENCED BY ASPHALT OBTAINED FROM THE MIXTURE OF TWO COMPONENTS: A TÍA JUANA SOFT MEDIUM (TJM-26) AND A HARD LAGOTRECO

FAVIA JOSÉ CABEZA ACOSTA¹, BENJAMÍN HIDALGO-PRADA¹, FRANKLIN ANTONIO VALLES GARCÍA²

¹Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, IIBCA, Laboratorio de Caracterización de Materiales, Cumaná, Venezuela. ²PDVSA, Centro Refinador Paraguaná, Superintendencia del Laboratorio de Amuay, Venezuela.

E-mail: faviacabeza@gmail.com / hidalgoben@gmail.com / vallesf@pdvsa.com

RESUMEN

En el Complejo de Refinación de Paraguaná de PDVSA CRP-AMUAY en Falcón, Venezuela, al integrarse el cambio de abastecimiento de crudo en la refinería, se crearon variaciones en las propiedades físicas y químicas en los asfaltos; de aquí deriva la necesidad de construir nuevas mezclas de asfaltos para evaluar su comportamiento bajo condiciones particulares y predecir su rendimiento. El objetivo final del diseño de mezclas de asfaltos fue seleccionar el contenido de asfalto duro o blando que lograra un balance equilibrado de todas las propiedades físico-químicas y reológicas deseadas. En este trabajo se realizaron mezclas de diferentes proporciones a partir de asfaltos extraídos de los crudos de un componente duro Lagotreco y un componente blando Tía Juana Mediano (TJM-26); en las mezclas asfálticas se realizaron análisis químico de SARA y ensayos de envejecimiento oxidativo por horno de envejecimiento en película delgada rotativa (RTFOT) y cámara de envejecimiento a presión (PAV) y luego se llevó a cabo el análisis reológico mediante el reómetro de corte dinámico, para muestras vírgenes, oxidadas (RTFOT) y envejecidas a 10 años de servicio (PAV). En los análisis reológicos se estableció que la mezcla de asfalto 4 (25% TJM-26 + 75% Lagotreco) está dentro de todos los rangos de temperaturas establecidos y cumplió las condiciones $G^*/\sin(\delta) \geq 1,00 \text{ kPa}$, $G^*/\sin(\delta) \geq 2,20 \text{ kPa}$ y $G^* \cdot \sin(\delta) \leq 5000 \text{ kPa}$, lo cual indica que no sufrirán de falla por deformación permanente (alta temperaturas) o fisuración térmica (temperaturas intermedias).

PALABRAS CLAVE: Asfalto, mezclas de asfaltos, reología.

ABSTRACT

In the Paraguaná Refining Complex of PDVSA CRP-Amuay in Falcon State, Venezuela, the integrating change of supply of crude in the refinery produced more changes in the physical and chemical properties of asphalts, hence resulting in the need to build new asphalt mixtures, as well as the need to assess their behavior under particular conditions and predict their performance. The ultimate goal of asphalt mix design is to select the contents of hard and soft asphalt that result in a fine balance of all the physical-chemical and rheological desired properties. In this research work we produced mixtures of different proportions of asphalts from crude oil extracted from a hard component and a soft component, Lagotreco and Tia Juana Medium (TJM-26) respectively; the asphalt mixtures were subjected to SARA chemical analysis and tested for oxidative aging, using a rotary oven for thin film (RTFOT) and a pressure aging chamber (PAV). Rheological analysis was carried out by dynamic shear rheometry for virgin, oxidized (RTFOT) and aged at 10 years of service (PAV) samples. From the rheological tests it was established that the asphalt mixture 4 (25% TJM-26 + 75% Lagotreco) had an adequate behavior within all ranges of temperatures tested and fulfilled the conditions set $G^*/\sin(\delta) \geq 1.00 \text{ kPa}$, $G^*/\sin(\delta) \geq 2.20 \text{ kPa}$ and $G^* \cdot \sin(\delta) \leq 5000 \text{ kPa}$, which indicates that this mixture will not suffer permanent deformation (at high temperatures) or thermal cracking (at intermediate temperatures).

KEY WORDS: Asphalt, asphalt mixtures, rheology.

INTRODUCCIÓN

El asfalto es un material que se puede obtener en forma natural o como producto de la refinación del petróleo. Su uso principal es para pavimentación y no lo afectan la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Es un material

termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfriá. En el pasado, las refinerías rara vez cambiaban sus fuentes de abastecimiento de crudo. Esto llevó a que las fuentes de asfalto tuvieran, también, propiedades consistentes. Al integrarse el cambio del abastecimiento de crudo en la refinería, se

crearon más variaciones en las propiedades del asfalto, tanto físicas como químicas. De estas variaciones, derivó la necesidad de evaluar la composición y el comportamiento del asfalto ante condiciones particulares y predecir su rendimiento en términos de conocidas formas de esfuerzo (Balige y Sawyer 2001).

El análisis químico de SARA (S: saturados, A: aromáticos, R: resinas y A: asfaltenos) se aplica a los asfaltos para la determinación de sus componentes mayoritarios pertenecientes a una estructura química compleja. El primero de ellos son los hidrocarburos saturados que le dan y aportan la elasticidad a los asfaltos. El segundo lo forman los hidrocarburos aromáticos siendo moléculas grandes le proporcionan volumen, complejidad y monos espacios a nivel molecular a las mezclas. El tercero es una mezcla de resinas de hidrocarburos más ligeros; éstas rodean a las moléculas de asfaltenos sin que exista una separación entre ellas, sino una transición. El cuarto se describe como una mezcla de asfaltenos que son los hidrocarburos más pesados de moléculas complejas, con alta masa molecular. Estos cuatro constituyen un sistema coloidal (Brule *et al.* 1990). La estructura molecular del asfalto es compleja y varía en tamaño y tipo de enlace químico con cada mezcla (Astorm *et al.* 1998).

El envejecimiento oxidativo es un proceso fisicoquímico que se realiza en un horno de envejecimiento en película delgada rotatoria por sus siglas en inglés RTFOT (*Rolling Thin Film Oven Test*), para obtener un ligante asfáltico envejecido que pueda ser usado para ensayos adicionales de pruebas físicas, simulando el proceso de fabricación de la mezcla en caliente en condiciones similares a las del tambor mezclador-secador. El envejecimiento a largo plazo se lleva a cabo en la cámara de envejecimiento a presión, por sus siglas en inglés PAV (*Pressure Aging Vessel*), específicamente desarrollado para realizar envejecimiento artificial y acelerado de los asfaltos en servicio. Una vez que se ha envejecido la muestra en el horno de película delgada giratoria (RTFOT), se traslada la muestra de ligante asfáltico al PAV para simular los efectos del envejecimiento de 10 a 20 años de servicio (Ludwig 2006).

La reología es una de las ciencias que ha sido más descuidada en la escogencia del tipo de asfalto para preparar mezclas de asfaltos, en las cuales la deformación es dependiente del tiempo, y que ocurre cuando el material es sometido a cargas estáticas o dinámicas o a variaciones de temperatura. Se requiere

entonces que el asfalto pueda deformarse adecuadamente para liberar tensiones inducidas por estos cambios, si se desea prevenir o minimizar las fallas por fractura de la estructura o su deformación permanente (Fleitas y Meleán 1992, Melean *et al.* 1998).

El reómetro de corte dinámico, equipo denominado por sus siglas en inglés DSR (*Dynamic Shear Rheometer*) evalúa el comportamiento reológico de las mezclas de asfaltos en funciones del tiempo de carga a temperaturas intermedias y altas. Este ensayo se aplica tanto al asfalto original como el asfalto envejecido (RTFOT y PAV) para simular el proceso constructivo y años de servicio; correlaciona la resistencia ofrecida por el material al someterlo a condiciones de tensión y temperatura (Fleitas y Meleán 1992). También es usado para caracterizar tanto el comportamiento viscoso, como el elástico, a través de la medida del módulo de cizallamiento complejo (G^*) y el ángulo de fase (δ) de las mezclas de asfaltos, para temperaturas altas e intermedias. En cuanto al modo de falla relacionado con el ahuellamiento se establece un factor de ahuellamiento ($G^*/\text{sen } \delta$) que representa la inflexibilidad o resistencia al ahuellamiento del asfalto a altas temperaturas, donde G^* o módulo complejo y $\text{sen } \delta$ se miden en el DSR. Con relación a la fisuración por fatiga, el factor de fisuración se obtiene en este caso multiplicando los parámetros de $G^*\cdot\text{sen } \delta$ a partir de medidas con el DSR sobre el asfalto envejecido, dado que esta falla se produce después de un período de servicio a temperaturas moderadas y bajas. Las especificaciones SUPERPAVE por sus siglas en inglés (*SUperior PERforming Asphalt PAVEment*), incorporan el comportamiento en servicio de los pavimentos basados en los principios básicos de ingeniería de materiales e incluyen además nuevos equipos de ensayos, metodologías y criterios de interpretación (Jugo y Urbáez 1996). Se utilizan de dos maneras los valores de G^* y δ . La capacidad del ligante a resistir deformaciones permanentes está gobernada por la relación $G^*/\text{sen } \delta$ a la temperatura de ensayo; este valor debe ser mayor a 1 kPa en el ligante original y mayor a 2,2 kPa para el ligante con envejecimiento corto. Para controlar el agrietamiento por fatiga, el ensayo se realiza en el ligante con envejecimiento corto (RTFO) y largo (PAV) a la temperatura promedio y las especificaciones recomiendan que en este caso, el valor $G^*\cdot\text{sen } \delta$ sea menor o igual a 5000 kPa, para simular el proceso constructivo y años de servicio y a tasas de carga compatibles con el tráfico (tiempo = 0,1 s; Velocidad = 80 km/h) (Brule y Planche 1990).

En el presente trabajo se prepararon mezclas de

asfaltos con diferentes proporciones de un componente duro Lagotreco y componente blando de Tía Juana Mediano veintiséis (TJM-26), existentes en la Refinería de PDVSA (CRP-AMUAY) en el estado Falcón. Se planteó como investigación el desarrollo de mezclas de asfaltos, en las cuales los componentes del asfalto fueron separados y evaluados usando la solubilidad de sus moléculas en diferentes solventes por medio de análisis cromatográfico SARA. Como complemento y para dar valor agregado a este estudio, las mezclas fueron sometidas a envejecimiento y análisis reológico para establecer la combinación óptima de componentes en la mezcla y sus propiedades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se utilizaron asfaltos obtenidos a través de la refinación de dos tipos de petróleo crudo de distintos grados API, a estos asfaltos se les llamó con el mismo nombre de su procedencia y se clasificaron como componente duro y blando. Se estudiaron los asfaltos obtenidos por mezclas a partir de un componente duro Lagotreco y componente blando Tía Juana Mediano (TJM-26). Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Amuay, área de crudo del Centro Refinador Paraguaná, PDVSA (CRP-AMUAY) y los estudios químicos de los asfaltos y sus mezclas se llevaron a cabo en PDVSA-INTEVEP.

Proporciones de mezclas

Para la obtención de las mezclas de asfaltos se utilizó un agitador de baja revolución, VELP®, modelo DLH, luego se procedió a recolectar las muestras de asfalto duro Lagotreco y blando Tía Juana Mediano (TJM-26) en envases de un galón, las cuales fueron calentadas en un horno a 90°C por una hora, hasta que estuvieran fluidas, mientras se tomaron envases de un cuarto de litro para realizar las proporciones de mezclas y evitar el calentamiento excesivo de las muestras, con la identificación respectiva en cada una de los envases usados. El tiempo de mezclado fue de 45 minutos a 200 revoluciones por minuto y temperatura controlada de 90°C para su homogenización.

Análisis químico elemental

Se realizó el análisis de SARA por cromatografía en capa fina acoplado a un detector de ionización a la llama (TLC/FID de las siglas en inglés), IATROSCAN®,

modelo SES-A-4100, siguiendo la norma de desarrollo de INTEVEP (AE 0207-2001).

Ensayos de envejecimiento

El realizó el ensayo de envejecimiento por película fina rotativa en estufa (RTFOT), marca James Cox & Cons inc, modelo CS325-A, bajo la norma ASTM D-2872 y especificación AASHTO T-240. El mismo consistió en precalentar el horno y antes de colocar dentro los contenedores cilíndricos de asfalto por un tiempo de 16 horas, estos se pesaron para conocer su masa; luego las mezclas de asfaltos obtenidas fueron previamente precalentada a temperatura no mayor de 90°C. Después se pesó una masa de $35,0 \pm 0,5$ g de mezcla de asfaltos, en cada caso dentro del cilindro, por duplicado; se colocaron los cilindros en forma horizontal en una parrilla de enfriamiento, se dejó enfriar por 60 minutos y luego, inmediatamente se introdujeron los cilindros dentro del horno en forma horizontal en un carrusel que gira a una velocidad de 15 revoluciones por minuto (rev/min) alrededor de un eje horizontal, a una temperatura de 163°C. Al rotar los cilindros, los asfaltos o mezclas fueron expuestos constantemente en películas nuevas de mezclas de asfaltos. En cada rotación el orificio del frasco de la muestra pasó por un chorro de aire caliente continuo a 4.000 mL/min que elimina los vapores acumulados y por un período de 85 min. Una vez transcurrido el tiempo en el horno, los cilindros con la mezcla de asfalto se colocaron en la parrilla de enfriamiento por un tiempo de 90 min (60 min mínimos a 180 min máximos).

Esta técnica permitió obtener la cantidad de mezcla de asfaltos con envejecimiento oxidativo inicial durante el proceso mezclador-secador, para cada mezcla obtenida.

En el recipiente de cámara de envejecimiento a presión (PAV) marca Prentex, modelo 9300, bajo la norma ASTM D-6521 y especificación AASHO PP-1; la prueba consistió en someter la muestra proveniente del RTFOT, pesando una masa de $85,0 \pm 0,5$ g de mezcla asfáltica en un cilindro de fondo plano con 10 mm de profundidad, sometiéndose luego a calentamiento adicional de 100°C durante 20 horas (con un precalentamiento del equipo hasta que alcanzó la temperatura de equilibrio), el cual se realizó en un recipiente a presión de 2,1 MPa. Esta es una técnica que se utiliza para determinar el envejecimiento a largo plazo en las mezclas de asfaltos.

Análisis reológico

Los análisis en el reómetro de corte dinámico (DSR)

se efectuaron en un equipo marca TA instruments LTD, modelo CSAII, bajo la norma ASTM D-7175 y especificación AASHTO TP-5, en donde las mezclas de asfaltos fueron previamente calentadas y agregadas en un molde en forma circular y enfriada a temperatura ambiente.

Seguidamente, se calibró el equipo y por último las muestras fueron colocadas (comprimidas) entre dos placas paralelas, una fija y otra oscilante. Se removió el exceso de muestra con una espátula especial o cuchilla para que su grosor fuese uniforme. La velocidad de oscilación (frecuencia) fue de 10 radianes por segundo (rad/s), lo que equivale aproximadamente a 1,59 Hz. Esto se llevó a cabo bajo tensión controlada, en la que el reómetro aplicó una fuerza de torsión constante para mantener la placa oscilante; ya que el asfalto es colocado entre una placa fija y una oscilante. Esta prueba caracterizó tanto el comportamiento viscoso como elástico de las muestras. Este ensayo se realizó tres veces a diferentes temperaturas por cada mezcla de asfalto virgen, oxidada y envejecida a 10 años de servicio, aplicándole una condición particular dependiendo de cada tipo de mezcla.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos de mezclas

En la Tabla 1, se presentan los resultados de las proporciones de las mezclas de asfaltos obtenidas para esta investigación, utilizando los asfaltos Tía Juana Mediano (TJM-26) y Lagotreco. Además se muestran los contenidos de cada mezcla de asfalto realizada con su componente duro y blando, dando un total de cinco mezclas de asfaltos obtenidas. Todas las mezclas se prepararon bajo los parámetros controlados de temperatura a 90°C, por 45 min a 200 rpm para su homogenización.

Tabla 1. Proporciones de las mezclas entre TJM-26 y Lagotreco.

Asfalto Mezcla	Componentes
TJM-26 (Mezcla 1)	100%
Mezcla 2	75% TJM-26 + 25% Lagotreco
Mezcla 3	50% TJM-26 + 50% Lagotreco
Mezcla 4	25% TJM-26 + 75% Lagotreco
Lagotreco (Mezcla 5)	100%

Propiedades químicas elementales de las mezclas de asfaltos

Los resultados que se muestran en la Figura 1 ilustran el comportamiento de las isotermas a 220°C de los componentes SARA, expresados en porcentajes de masa (% m/m) en función del componente blando TJM-26 y el componente duro Lagotreco para las cinco proporciones de mezclas de asfaltos. De manera general se notó el ascenso progresivo de la isoterma a 220°C del componente asfaltenos a lo largo del gráfico.

En dos puntos (el primer y cuarto punto) la isoterma de las resinas tiene un valor más elevado que el de los aromáticos. No obstante, los saturados y las resinas pudieran estar interactuando y reaccionando entre sí para formar moléculas cíclicas de hidrocarburos más complejos produciendo un incremento en las moléculas de los asfaltenos como resultado de estas reacciones dentro de la estructura interna del asfalto; en donde el componente duro Lagotreco es el principal causante de este nivel alto de las moléculas de los asfaltenos, debido a que ésta mezcla de asfalto posee mayor cantidad de asfaltenos dentro de su estructura molecular; por tal motivo es la mezcla más dura, viscosa y con menos elasticidad. De la Figura 1 se puede extraer que los componentes aromáticos están por encima de la isoterma de los saturados (segundo, tercero y quinto punto), lo cual significa que solo dos mezclas presentan mejor oportunidad para formar enlaces y espacios para la movilidad molecular dentro de la estructura de las mezclas de asfaltos, la 4 (25% TJM-26 + 75% Lagotreco) y la 1 (100%TJM-26).

A pesar que la isoterma a 220°C de los compuestos de hidrocarburos saturados se encuentran en dos puntos similares (segundo y tercer punto), el de menor valor (cuarto punto) ocurre cuando la proporción de las resinas es más alta y la cantidad de componentes aromáticos se aproxima a este valor, demostrando que a pesar de poseer gran cantidad de enlaces que le otorgan movilidad a la estructura, estos se encuentran impedidos estéricamente por las grandes moléculas cíclicas de los componentes aromáticos y por la influencia de la cantidad más alta de asfaltenos, ya que estos aumentan drásticamente a medida que disminuye el componente blando TJM-26, con lo cual explicaría que pudieran presentar una alta viscosidad las mezclas de asfaltos 2 (75% TJM-26 + 25% Lagotreco), 3 (50% Lagotreco + 50% TJM-26) y 4 (25% TJM-26 + 75% Lagotreco). Este análisis corrobora que son los asfaltenos los responsables de la alta viscosidad en los asfaltos y sus mezclas de asfaltos.

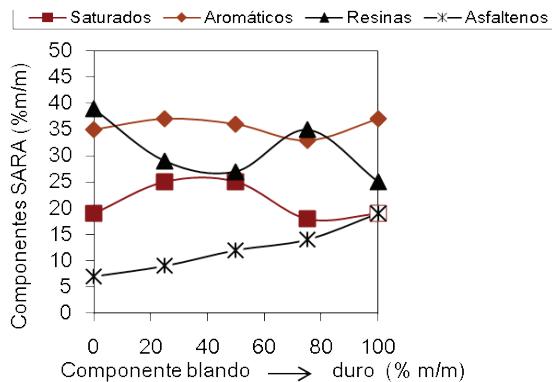


Figura 1. Fracciones de los asfaltos y sus mezclas con relación a los hidrocarburos presentes para un componente blando y uno duro (TJM-26 y Lagotreco) obtenidas mediante análisis SARA.

Análisis reológicos de las mezclas de asfaltos vírgenes, oxidadas (RTFOT) y envejecidas (PAV) mediante el reómetro de corte dinámico (DSR)

En la Figura 2, se muestra la correlación del comportamiento de las curvas del factor de ahuellamiento ($G^*/\text{sen } \delta$) y de la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla asfáltica 1 (100% TJM-26).

Las curvas del factor de ahuellamiento ($G^*/\text{sen } \delta$) de la mezcla de asfalto 1 virgen y oxidada por RTFOT descienden con el aumento de la temperatura en el rango siguiente 52°C, 58°C, 64°C y 70°C. En donde la mezcla 1 virgen hasta la temperatura 64°C cumplió con la condición de $G^*/\text{sen } \delta \geq 1,00 \text{ kPa}$. Por consiguiente, se puede predecir que a temperaturas por debajo de 64°C, se mantendrá en condiciones óptimas para ser usado como pavimento. A 70°C ya no cumple con la condición $G^*/\text{sen } \delta \geq 1,00 \text{ kPa}$, esto puede deberse a que el componente blando TJM-26 es completamente blando y más elástico que viscoso producto de las interacciones entre las moléculas de los componentes saturados y resinas que se encuentran en mayor cantidad dentro de la estructura interna del TJM-26 provocando más movilidad y fluidez a éstas. La mezcla 1 oxidada sólo cumple hasta 58°C la condición $G^*/\text{sen } \delta \geq 2,20 \text{ kPa}$, de forma que por encima de 58°C esta mezcla de asfalto podría presentar falla por deformación permanente, y para su uso como pavimento debe tomarse en cuenta la temperatura límite máxima que toma el lugar donde se asfaltará y las condiciones climáticas.

En la Figura 3 la mezcla de asfalto 1 muestra un descenso en el factor de fisuración por fatiga, donde sólo en los puntos de 22°C y 20°C cumple con la condición $G^*\cdot\text{sen } \delta \leq 5000 \text{ kPa}$. Estos resultados revelan que a altas temperaturas y moderadas hasta 20°C esta mezcla de

asfalto presentará condiciones favorables para ser usado como asfalto de pavimentación. Por lo tanto, podría predecirse que su tendencia a falla por fisuración térmica o fatiga es posible por debajo de 20°C.

Las curvas de correlación del factor de ahuellamiento en la Figura 4 descienden en los rangos establecidos de temperatura (52°C, 58°C y 64°C), tanto para la mezcla de asfalto 2 virgen, como para la oxidada por RTFOT. A 70°C ésta mezcla de asfalto no cumple con las condiciones $G^*/\text{sen } \delta \geq 1,00 \text{ kPa}$ y $G^*/\text{sen } \delta \geq 2,20 \text{ kPa}$, virgen y oxidada, respectivamente. Por lo tanto a temperaturas por debajo de 64°C no sufrirán de deformación permanente, resistiendo los esfuerzos de cargas. Aquí resaltan los componentes SARA, donde las resinas y los hidrocarburos saturados juegan el papel principal para que la viscoelasticidad disminuya.

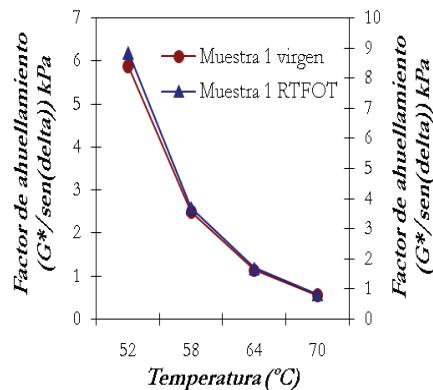


Figura 2. Curvas de correlación del factor de ahuellamiento ($G^*/\text{sen } \delta$) y la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla de asfalto 1 (100% TJM-26) virgen y después del tratamiento oxidativo RTFOT a 163°C.

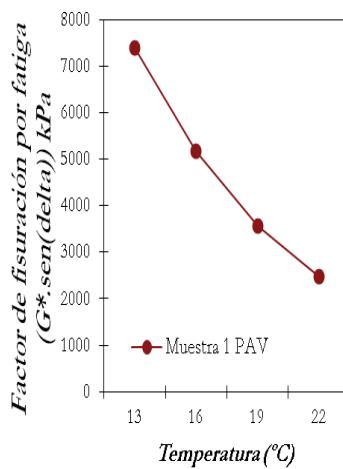


Figura 3. Curvas de correlación del factor de ahuellamiento ($G^*\cdot\text{sen } \delta$) y la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla de asfalto 1 (100% TJM-26) después de un envejecimiento acelerado en el PAV de 10 años.

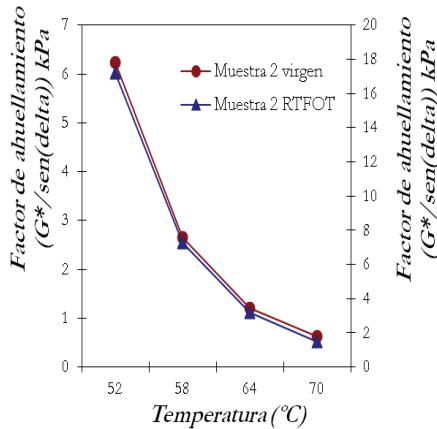


Figura 4. Curvas de correlación del factor de ahueamiento ($G^*/\text{sen}(\delta)$ kPa) y la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla de asfaltos 2 (75% TJM-26 + 25% Lagotreco) virgen y después del tratamiento oxidativo RTFOT a 163°C.

El factor de fisuración por fatiga de la mezcla de asfalto 2 que se ilustra en la Figura 5 muestra más bien una forma lineal decreciente de una curva, indicando que sólo un valor entró en la condición $G^*\cdot\text{sen} \delta \leq 5000$ kPa y a la temperatura de 22°C, los demás valores estuvieron muy elevados, trayendo como consecuencia que en esta mezcla de asfalto se produzca, por debajo de 22°C, deterioro por fisuración térmica o fatiga. Como se muestra en la Figura 1 en ésta mezcla se incrementa el nivel de moléculas de los asfaltenos debido al componente duro Lagotreco y a las numerosas reacciones que se producen a la temperatura de 220°C.

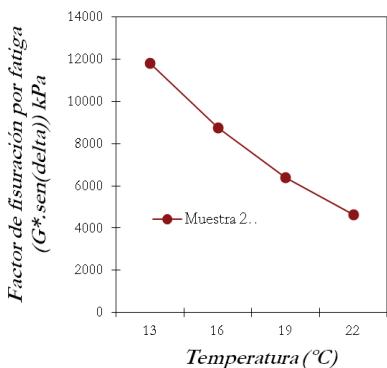


Figura 5. Curvas de correlación del factor de ahueamiento ($G^*/\text{sen}(\delta)$ kPa) y la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla de asfaltos 2 (75% TJM-26 + 25% Lagotreco) después de un envejecimiento acelerado en el PAV de 10 años.

El comportamiento de la mezcla de asfalto 3 virgen y oxidada por RTFOT (Figura 6) resultaron dos curvas descendentes en el factor de ahueamiento, en un rango de temperatura de 52°C, 58°C y 64°C, cumpliendo con el parámetro de $G^*/\text{sen} \delta \geq 1,00$ kPa y $G^*/\text{sen} \delta \geq 2,20$ kPa,

kPa, respectivamente. La temperatura a la cual no se cumplieron con estas condiciones fue a 70°C, lo cual sugiere que por encima de 64°C esta mezcla asfáltica no funcionaría como asfalto para pavimentación. Por consiguiente, este resultado destaca la influencia que ejerce el componente duro Lagotreco aumentando el nivel de asfaltenos, explicado esto en la Figura 1.

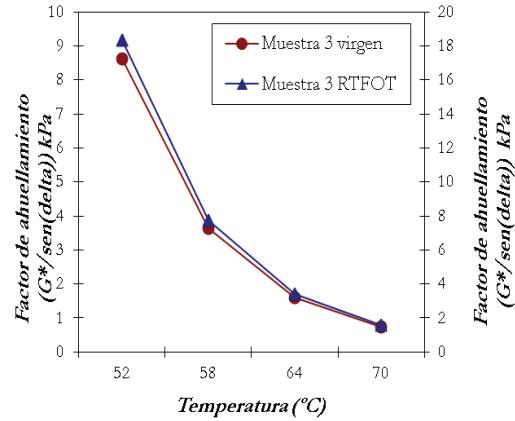


Figura 6. Curvas de correlación del factor de ahueamiento ($G^*/\text{sen} \delta$) y de la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla de asfaltos 3 (50% TJM-26 + 50% Lagotreco) virgen y después del tratamiento oxidativo por RTFOT a 163°C.

A 22°C el factor de fisuración por fatiga que se muestra en la Figura 7 cumple con la condición $G^*\cdot\text{sen} \delta \leq 5000$ kPa, es decir, los demás puntos de los rangos de temperaturas establecidos (13°C, 16°C y 19°C) obtuvieron valores por encima de lo requerido, de forma que se puede predecir que a temperaturas intermedias por debajo de 22°C se presentará falla por fisuración por fatiga. Los resultados muestran un comportamiento lineal del factor de fisuración y la influencia del componente duro con valores bastante altos producto de la resistencia de la mezcla de asfalto a la deformación por la carga aplicada aún después de 10 años de servicio.

En la Figura 8 donde se grafica el factor de ahueamiento se muestran dos curvas decrecientes cumpliendo con todos los valores dentro de las condiciones $G^*/\text{sen} \delta \geq 1,00$ kPa y $G^*/\text{sen} \delta \geq 2,20$ kPa, para una muestra virgen y una muestra oxidada por RTFOT, respectivamente y en los rangos de temperaturas establecidos (52°C, 58°C, 64°C y 70°C), de manera que se puede decir que esta mezcla de asfalto es útil como asfalto para pavimentación. La mezcla de asfalto 4 (25% TJM-26 + 75% Lagotreco) con refuerzo interno de las moléculas del componente saturado, resisten la acción de la carga aplicada para este análisis y debido a la influencia del componente duro que se encuentra en mayor proporción (75%), como pudo verse en el gráfico de la Figura 1.

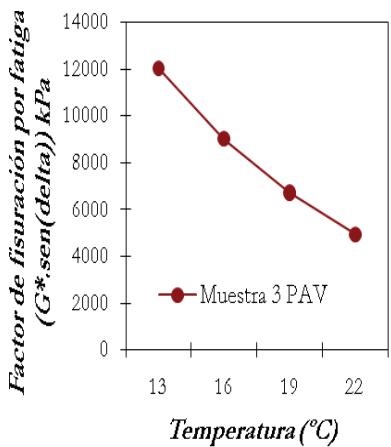


Figura 7. Curvas de correlación del factor de fisuración por fatiga ($G^* \cdot \text{sen} \delta$) y de la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla de asfalto 3 (50% TJM-26 + 50% Lagotreco) después de un envejecimiento acelerado en el PAV de 10 años.

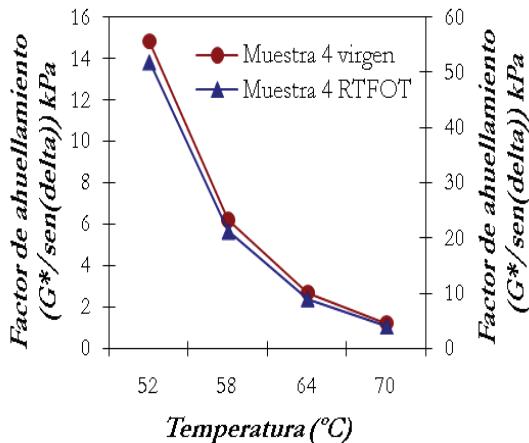


Figura 8. Curvas de correlación del factor de ahuellamiento ($G^* \cdot \text{sen} \delta$) y de la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla de asfalto 4 (25% TJM-26 + 75% Lagotreco) virgen y después del tratamiento oxidativo por RTFOT a 163°C.

En la Figura 9 para la mezcla de asfalto 4 los valores obtenidos del factor de fisuración por fatiga cumplen con la condición $G^* \cdot \text{sen} \delta \leq 5000$ kPa, menos a la temperatura de 16°C dando un valor muy alto el cual se sale de la condición del factor de fisuración para una muestra de PAV, lo que puede atribuirse a la participación en mayor proporción del componente duro Lagotreco y al efecto de resistencia de las grandes estructuras cíclicas de las moléculas aromáticas a las cargas aplicadas. A pesar que no se observó una curva descendente, estos resultados cumplieron para las siguientes temperaturas establecidas (13°C, 19°C y 22°C), así la mezcla de asfalto 4 puede ser usada a temperaturas moderadas mostrando una excelente resistencia a la falla por fisuración térmica o fatiga, es decir, no ocurrirá este tipo de deterioro, en 10 años de servicio como pavimento.

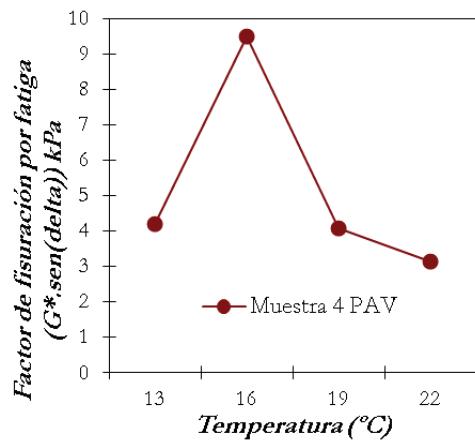


Figura 9. Curvas de correlación del factor de fisuración por fatiga ($G^* \cdot \text{sen} \delta$) y de la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla de asfalto 4 (25% TJM-26 + 75% Lagotreco) después de un envejecimiento acelerado en el PAV de 10 años.

El factor de ahuellamiento que se ilustra en la Figura 10 presenta dos curvas descendentes en los rangos de temperatura establecidos que son los siguientes 52°C, 58°C, 64°C y 70°C, y todos los resultados obtenidos se encontraron dentro del parámetro $G^*/\text{sen} \delta \geq 1,00$ kPa (sin tratamiento) y $G^*/\text{sen} \delta \geq 2,20$ kPa (envejecimiento oxidativo) es decir que, a elevadas temperaturas esta mezcla asfáltica se comportará como un sólido elástico previniendo falla por deformación permanente y puede ser utilizada como pavimento, sin que aparezcan deterioros. La mezcla de asfalto 5 contiene la mayor cantidad de moléculas de asfaltenos, por tanto podría suponerse que resistirá el efecto de la acción de la carga aplicada y al esfuerzo elástico (recuperable) y viscoso (no recuperable) producido por las moléculas internas en su estructura, discutido en el gráfico de la Figura 1.

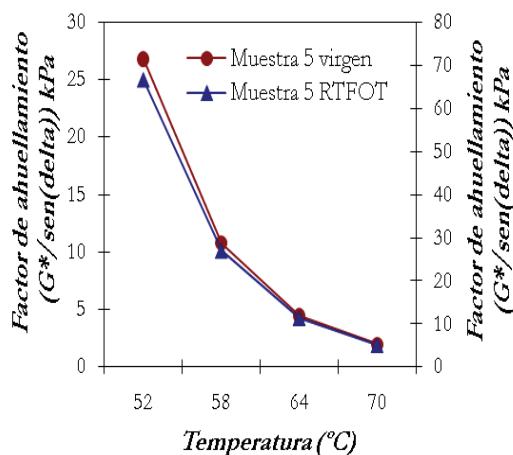


Figura 10. Curvas de correlación del factor de ahuellamiento ($G^* \cdot \text{sen} \delta$) y de la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla de asfalto 5 (100% Lagotreco) virgen y después del tratamiento oxidativo RTFOT a 163°C.

La correlación del factor de fisuración por fatiga en la Figura 11 presenta una linealidad decreciente en los rangos de temperaturas establecidos (13°C, 16°C, 19°C y 22°C) y los resultados obtenidos se encontraron fuera de la condición $G^* \cdot \text{sen} \delta \leq 5000 \text{ kPa}$, es decir, esta mezcla de asfalto no funciona a temperaturas moderadas presentando un comportamiento inadecuado, con poca resistencia al esfuerzo de carga aplicado. Se puede predecir que antes de que pueda llegar a este bajo nivel de temperatura, la mezcla de asfalto ya ha sufrido la falla por fisuración térmica o fatiga. Los valores que alcanzó el factor de fatiga de la mezcla asfáltica 5 fueron extremadamente altos, notándose la pérdida de elasticidad y fluidez; variando a lo largo de las temperaturas establecidas ocasionado por la interacción de las moléculas de los asfaltenos como se muestra en la Figura 1.

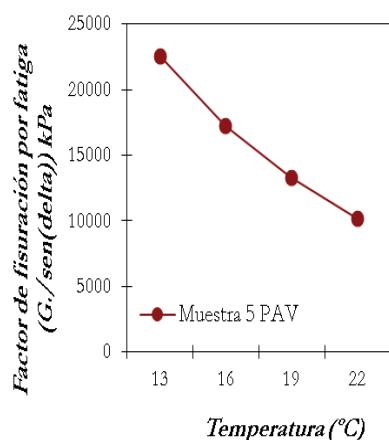


Figura 11. Curvas de correlación del factor de fisuración por fatiga ($G^* \cdot \text{sen} \delta$) y de la viscosidad en función de la temperatura de la mezcla de asfalto 5 (100% Lagotreco) después de un envejecimiento acelerado en el PAV de 10 años.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación permitieron establecer que existe una muy estrecha relación entre los componentes SARA (Saturados, Asfaltenos, Resinas, Aromáticos) y las características reológicas de cada componente asfáltico en las mezclas.

Los componentes duros influyen directamente en el comportamiento de las mezclas de asfaltos incrementando los asfaltenos, aumentando la viscosidad haciéndola menos elástica y por lo tanto incrementando al factor de fisuración por fatiga.

La mezcla de asfalto 4 (25% TJM-26 + 75% Lagotreco) presenta una mejor respuesta al esfuerzo

de cargas resistiendo reológicamente las fallas a altas temperaturas, así como la deformación permanente y después de 10 años de servicio, la fisuración por fatiga en un rango de temperaturas de 70°C hasta 19°C, trayendo consigo un comportamiento de sólido blando para temperaturas intermedias, producto del componente blando TJM-26 que le aporta la mayor cantidad de resinas y como consecuencia, una mejor respuesta a las condiciones de servicio, constituyéndose así en la mejor combinación de proporción de asfaltos y de propiedades viscoelásticas del presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTORM D, BRUMSIF RJ, SHERI EY. 1998. Development of solid properties and thermochemistry of asphalt binders in the 25-65°C temperature range. *Energy Fuels.* 10(3):855-864.
- BALIGE M, SAWYER C. 2001. Caracterización integral de materiales asfálticos. Argentina, Repsol YPF Derivados Latinoamérica. 2:6-10.
- BRULE B, PLANCHE J. 1990. Relationship between characterization of asphalt cements by differential scanning calorimetry and their physical properties. *Am. Chem. Soc. 35:3; Conference 200:* 26-31.
- BRULE B, RAMOND G, SUCH C. 1990. Relationship between composition, structure and properties of road asphalt. *Transp. Res. Record.* 1096:22-34.
- FLEITAS F, MELEÁN G. 1992. Estado del arte sobre técnicas de caracterización fisicoquímica y reológica de los cementos asfálticos. Informe Técnico. PDVSA-INTEVEP.
- JUGO A, URBÁEZ E. 1996. Las nuevas especificaciones "SUPERPAVE" para ligantes asfálticos y su posible uso en Venezuela. Instituto Venezolano del Asfalto (INVEAS), 9.
- LUDWIG U. 2006. Evaluación de los equipos y ensayos reológicos de asfaltos realizados en el laboratorio de crudo de la refinería de Amuay del Centro de Refinación Paraguaná. Trabajo de Grado. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda.
- MELEÁN C, ROSALES J, BLANCO P, CARBOGNANI O, SCAGLIONE G, MARTÍNEZ C, VILLALOBOS J, ROSQUETE M. 1998. Comportamiento de asfaltos obtenidos

por mezclas a partir de un componente duro del crudo Boscán y componentes blandos de Boscán y TJM-26. Informe Técnico. PDVSA-INTEVEP.

NORMA ASTM D-2872. 2004. Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test) RTFOT. AASHTOP PP-1.

NORMA ASTM D-6521. 2005. Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt. Binder Using a Pressurized. Aging Vessel (PAV). AASHTO

T-240.

NORMA ASTM D-7175. 2005. Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR). AASHTOP TP – 5.

NORMA INTEVEP (AE 02079). 2001. Análisis químico para determinar compuestos saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos (SARA) en los asfaltos por cromatografía de capa fina acoplada a un detector de ionización.