

## **DEL EMPIRISMO A LA CARACTERIZACIÓN AVANZADA DE LIGANTES ASFALTICOS**

José Pablo Aguiar Moya, Ph.D.  
LanammeUCR, Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
jose.aguiar@ucr.ac.cr

Ernesto Villegas Villegas  
LanammeUCR, Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
rafael.villegas@ucr.ac.cr

Fabrizio Leiva Villacorta, Ph.D.  
LanammeUCR, Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
fabrizio.leiva@ucr.ac.cr

Ellen Rodríguez Castro  
LanammeUCR, Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
ellen.rodriguez@ucr.ac.cr

Luis Guillermo Loría Salazar, Ph.D.  
LanammeUCR, Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

Alejandro Navas Carro, M.Sc.  
LanammeUCR, Universidad de Costa Rica  
San José, Costa Rica  
alejandro.navas@ucr.ac.cr

### **Resumen**

El asfalto es un material visco-elástico que presenta susceptibilidad a la temperatura y a la frecuencia de carga. Adicionalmente, cuando se utilizan modificantes, el material también tiende a ser dependiente de los esfuerzos de cortante. Por tanto, métodos de caracterización del asfalto que se basan en mediciones puntuales de alguna propiedad empírica o fundamental pueden no ser apropiados para escoger asfaltos que se cumplan con los requisitos de demanda (esfuerzos y temperaturas) a que están sometidos los pavimentos en la actualidad. Este es el caso de los métodos de clasificación de asfaltos basados en el ensayo de penetración y el de viscosidad absoluta.

En este sentido, la metodología de diseño SUPERPAVE fue un avance importante puesto que busca determinar a través de la reología, el rango de temperaturas para las cuales un asfalto se va a desempeñar adecuadamente. Sin embargo, se ha demostrado que los parámetros medidos en el asfalto para el diseño de mezcla SUPERPAVE no necesariamente correlacionan bien con el desempeño de la mezcla asfáltica en campo. Por tanto, se han desarrollado métodos de evaluación que buscan complementar la metodología Superpave. Algunos son los ensayos de creep repetitivos y Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) que permiten definir para que condiciones de tránsito se comporta adecuadamente un asfalto.

El presente artículo busca, a través de un caso de selección de asfaltos para un proyecto específico, mostrar las ventajas y desventajas de utilizar los distintos ensayos para caracterización de asfaltos que se vienen usando desde los años sesenta. Adicionalmente, se demuestra que los métodos empíricos de caracterización de asfaltos no son apropiados y que la realización de ensayos de desempeño es de fundamental importancia a la hora de escoger asfaltos para condiciones específicas, especialmente para proyectos de gran magnitud.

### **Resumo**

O asfalto é um material visco elástico que apresenta susceptibilidade por temperatura e frequência de carregamento. Além, quando utilizam-se modificadores, o material também tende a ser dependente dos esforços de cisalhamento. Assim, os métodos de caracterização do asfalto que se baseiam em medições específicas de alguma propriedade empírica ou fundamental tendem a não ser adequados para escolher asfaltos que cumprem os requisitos procurados (tensões e

temperaturas) para os quais são submetidos os pavimentos na atualidade. Este é o caso dos métodos de classificação de asfaltos baseados no ensaio de penetração e viscosidade absoluta.

Neste sentido, a metodologia de caracterização de asfaltos Superpave foi um grande avanço pois procura determinar o rango de temperaturas para o qual um asfalto vai ter um desempenho adequado com base nas propriedades reológicas do material. No entanto, tem sido demonstrado que os parâmetros medidos por Superpave não necessariamente correlacionam bem com o desempenho da mistura asfáltica no campo. Por isso, tem sido desenvolvidos métodos de avaliação que procuram complementar o método Superpave com ensaios como o creep repetido e Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) os quais permitem definir como se comporta o asfalto para diferentes condições de tráfego.

Este artigo procura através de um caso de seleção de asfaltos para um projeto específico mostrar as vantagens e desvantagens de utilizar os diferentes ensaios para a caracterização de asfaltos que são usados desde os anos sessenta. Além, mostra-se que os métodos empíricos de caracterização de asfaltos não são apropriados e que a realização de ensaios de desempenho é de extrema importância no momento de escolher asfaltos para condições específicas.

## INTRODUCCIÓN

En la industria de las carreteras existe hoy en día un gran auge por los asfaltos modificados. Sea donde sea que se discuta sobre el tema hay dos corrientes nefastas, si su conocimiento técnico no es el adecuado: 1) adeptos que pregonan el uso indiscriminado de los modificados, con la firme teoría de que cualquier polímero aumenta la vida útil del pavimento, y por otro lado 2) opositores que manifiestan que no son de una utilidad significativa.

Estas formas de pensar tan polarizadas y erradas a la vez, constituyen un verdadero peligro en el mejoramiento de los asfaltos y por ende en el desempeño de la mezcla. Los primeros promueven el uso del modificante como solución a cualquier posible deterioro del pavimento, sin tener un verdadero diagnóstico de las necesidades del proyecto, del asfalto y de las características del modificante, pudiendo afectar de forma negativa el desempeño del material. Los segundos que quizás por tener experiencias basadas en asfaltos modificados de manera inadecuada, además de una mala escogencia del polímero, esto provoca que evite la oportunidad comprobada de mejorar las propiedades de desempeño del asfalto y de la mezcla asfáltica.

Es importante tener claro que los modificantes dependiendo de su naturaleza, mejoran ciertas propiedades del asfalto, es erróneo creer que mejora todas las propiedades del asfalto).

Para poder considerar el uso de modificantes, es importante conocer las condiciones a las cuales se va a desempeñar la mezcla asfáltica, para conocer las características que se deben establecer y los parámetros que se deben medir como parte del control de calidad, con el propósito de que garantizar que las propiedades definidas se alcancen después del proceso de modificación.

En la escogencia de asfalto es importante tener en cuenta, por lo menos, los siguientes aspectos (Bahia et al., 2001; Daly et al., 2010):

1. El alto costo de los combustibles hace que los subproductos de la refinación del crudo sean los más apetecidos por dicha industria. Esto incide directamente en que los procesos de refinación sean cada vez más eficientes, haciendo que la calidad de los asfaltos sean cada vez mas deficientes (Coomarasamy y Hesp, 1998).
2. El constante cambio en las condiciones climáticas globales.
3. Las condiciones cambiantes de la flotilla vehicular y la demanda de los mismos sobre las estructuras de pavimento.

4. El desarrollo de las tecnologías para la caracterización de asfaltos, las cuales proveen herramientas más exhaustivas en la toma de decisiones en cuanto a la escogencia del mismo.
5. Los procesos de control y aseguramiento de la calidad.

## **EL ASFALTO**

Lo primero que se debe tener en cuenta es que el asfalto es una mezcla de compuestos químicos, que tienen propiedades que varían incluso entre fuentes cercanas.

El primer paso para seleccionar el asfalto que debe ser utilizado es conocer las condiciones del proyecto, dentro de las cuales se pueden mencionar:

1. Estudio de demanda que defina las características de los vehículos que transitan o transitarán la carretera.
2. Temperaturas máximas y mínimas del pavimento que pueden ser estimadas o medidas aplicando los modelos basados en la temperatura ambiente (Lukanen, 2000).
3. Requerimientos de deformación y adherencia: es importante definir las propiedades del asfalto para que a condiciones definidas de servicio, el mismo pueda tener una respuesta y por tanto un desempeño apropiado (resistencia a la deformación plástica y a la fatiga).

Adicionalmente, también se considerará los siguientes aspectos:

1. Caracterización físico-química de los materiales involucrados en la modificación
2. Definición de las condiciones de modificación: dosis de polímero, temperatura y tiempo de mezclado y velocidad de agitación.
3. Parámetros de control y verificación de la calidad del asfalto modificado basado.

## **Especificaciones Clásicas**

Las primeras especificaciones utilizadas por una incipiente industria del asfalto a finales del siglo XIX y a inicios del siglo XX fueron:

- a) Asfaltos extraídos de lago
  - Apariencia: observación cualitativa del material que dependía del conocimiento del analista.
  - Solubilidad en disulfuro de carbono: cuantificación de materia inorgánica del asfalto.
- b) Asfaltos refinados
  - Masticación: observación cualitativa del material que dependía del conocimiento del analista.
  - Penetración: medida de consistencia.

Estas especificaciones han evolucionado de acuerdo con el avance de la tecnología y con las necesidades que se han generado en la industria carretera para controlar la calidad de los productos que fabrican.

Actualmente, la compra de los asfaltos en la mayoría de los países de Latinoamérica está regida básicamente por dos tipos de clasificación basados en los ensayos de penetración y viscosidad absoluta. En ambos casos se utilizan otros ensayos que intentan describir otras propiedades del asfalto.

### *Penetración*

El ensayo de penetración se diseñó utilizando una aguja de máquina de coser No. 2 (a pesar de que se han utilizado varias modificaciones de la misma), con una masa específica de 100 g que se

aplica por un período de 5 s , a una temperatura dada que generalmente es 25 °C sobre una muestra de asfalto.(Halstead y Welborne, 1974).

La penetración tiene la intención de medir la consistencia de la muestra, o sea que tan duro o blando es el asfalto. El ensayo tiene la ventaja de que es relativamente rápido, sencillo, no requiere de equipos sofisticados ni costosos, y es metrológicamente fácil de controlar. Sin embargo, tiene las siguientes desventajas: es una prueba empírica, no mide las propiedades viscoelásticas del asfalto y no refleja el desempeño del asfalto, la temperatura de ensayo es generalmente distinta a la temperatura de servicio del asfalto y asfaltos muy distintos pueden presentar penetraciones similares.

#### *Viscosidad Absoluta*

La viscosidad se mide en medida generalmente en Poises (P) que es equivalente a 0,1 Pascales por segundo (Pa·s).

La clasificación se divide en rangos de 1000 Poises  $\pm$  20% del valor, así los asfaltos con viscosidades entre 1800 P y 2400 P (2000 $\pm$ 400 Poises) se clasifican como AC-20 y los asfaltos con viscosidades entre 2400 P y 3600 P (3000 $\pm$ 600 Poises), se clasifica como AC-30

La viscosidad absoluta mide la resistencia del asfalto a fluir a una temperatura de 60 °C.

Dentro de las ventajas de este ensayo se pueden mencionar que es fácil de realizar, no requiere instrumentación sofisticada, es metrológicamente controlable, mide una propiedad fundamental de los líquidos, lo que permite una mayor diferenciación entre asfaltos que mediante penetración. Sin embargo, el ensayo tiene la desventaja de que no es aplicable para fluidos no newtonianos, se realiza a temperaturas diferentes a las de servicio del pavimento, y solo es capaz de brindar información del comportamiento viscoso del material.

#### *Necesidades Emergentes*

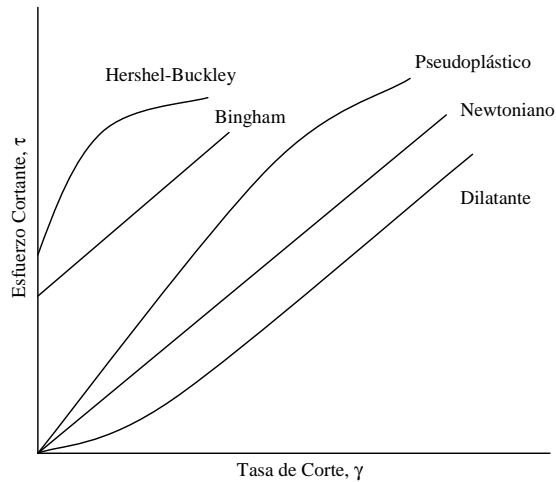
Para solventar las falencias de los métodos anteriores, en los años ochentas se inician esfuerzos tendientes a mejorar el control de calidad del asfalto, a evaluar el desempeño del material y predecir el desempeño en la carretera. Para lo cual se conforma un comité que desarrolla la metodología de diseño Superpave (Superior Performing Pavements, o Pavimentos de Desempeño Superior) que inicia en 1987. Dentro de esta metodología de diseño se incluyen especificaciones para seleccionar el asfalto de acuerdo con propiedades desempeño, no solo con propiedades físicas o químicas. Con este desarrollo se buscó incluir parámetros para medir la susceptibilidad a la deformación permanente, fatiga y agrietamiento del asfalto

Latinoamérica se unió a estos esfuerzos con la participación de centros de investigación de alto nivel con la intención de incluir esta nueva normativa dentro de los carteles de licitación y especificaciones de los proyectos con el propósito de garantizar que el asfalto desempeñe eficientemente, especialmente en proyectos de gran magnitud.

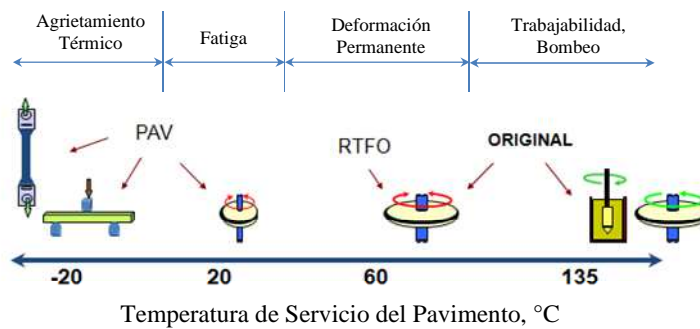
## **Reología**

La reología es la rama de la física que estudia la respuesta de un material líquido o sólido cuando es sometido a fuerzas externas (bajo condiciones definidas). La reología se aplica cuando los sufren deformación plástica, en vez de deformarse elásticamente, una vez que están sometidos a algún tipo de carga externa. El concepto de reología se resume en la Figura 1 y en la Figura 2 se muestran los equipos utilizados en la caracterización reológica del asfalto según la metodología de diseño Superpave.

**Figura 1: Comportamiento reológico de materiales**



**Figura 2: Ensayos Superpave para Caracterización de Asfaltos (TA Instruments)**



El asfalto es un material visco-elástico y por ende un material con un comportamiento complejo que depende de las condiciones a las cuales este expuesto. Dependiendo de dichas condiciones se puede comportar como un cuasi sólido o un cuasi líquido, pero en general tiene un comportamiento intermedio entre ambas condiciones límites (componente elástica y viscosa). Típicamente, un asfalto convencional presenta un comportamiento de fluido newtoniano, mientras que un asfalto modificado se comporta como un fluido pseudoplástico, donde la viscosidad depende de la tasa de corte aplicada.

En cuanto al desempeño del asfalto, se sabe que un asfalto con alta rigidez ofrece mayor resistencia a las roderas (cargas y altas temperaturas causan roderas) y un asfalto con baja rigidez es menos susceptible al daño por fatiga (depende de deformación y bajas temperaturas). Por tanto, normalmente se busca alcanzar un balance entre ambas condiciones (Aguilar et al., 2007).

Para la determinación del grado de desempeño (PG, por sus siglas en inglés) de los asfaltos, se usa un reómetro dinámico de cortante para medir el módulo a cortante del asfalto ( $G^*$ ) y el ángulo de fase entre el esfuerzo aplicado y la deformación ( $\delta$ ). El PG corresponde a la máxima temperatura donde  $G^*/\text{sen}\delta$  es mayor a 1,0 kPa para asfaltos originales, mayor a 2,2 kPa para asfaltos acondicionados en el horno de película delgada (RTFO, por sus siglas en inglés) y menor a 5 MPa para los asfaltos acondicionados en el horno de envejecimiento a presión (PAV, por sus siglas en inglés).

Para definir cuál debe ser el asfalto a escoger se debe tomar en cuenta como mínimo:

1. Los requerimientos de PG del proyecto, con el fin de seleccionar el asfalto de acuerdo con estas condiciones y según el deterioro que se quiera prevenir, ya sea deformación permanente a altas temperaturas de servicio, o fatiga a temperaturas bajas e intermedias.
2. En caso de que el asfalto original no cumpla con los requerimientos de PG, se debe valorar la opción de modificar el asfalto.
3. Se recomienda caracterizar el asfalto por PG a tres temperaturas, ejemplo si el asfalto original tiene una temperatura superior de 64 es recomendable hacer mediciones a 58, 64 y 70, esto con el fin de estimar el valor de PG real a partir de la ecuación de la lineal que se traza con los resultados,. El propósito de conocer el valor real del PG es que el sistema clasifica el PG cada 6 grados. Por ejemplo si se obtiene un resultado de PG de 66 para un asfalto original y 69 para otro asfalto, ambos se clasifican como 64..
4. Corroborar que el asfalto original o modificado, como modificado no presenta problemas de adherencia.

## **EL MODIFICANTE**

Los modificantes suelen ser polímeros que reaccionan de diversas maneras con el asfalto, dependiendo de la afinidad de los compuestos con las fases del asfalto. Las características particulares de cada aditivo hacen que cada uno tenga un efecto distinto sobre el asfalto, de igual manera el proceso de incorporación y el asfalto base hacen que la respuesta del asfalto varíe.

Los aditivos mejoradores de adherencia no son los mismos que se utilizan el desempeño del asfalto. Los primeros no necesariamente modifiquen el PG del asfalto base, pues su propósito es otro.

Para la escogencia de un modificante óptimo, después de conocer las propiedades del asfalto base se deben verificar los siguientes aspectos:

1. La modificación debe de mejorar el desempeño del asfalto, por lo que se debe corroborar que tanto el rango inferior como el superior de temperatura, cubran el rango real de temperaturas de trabajo de la carretera.
2. El polímero y el asfalto deben tener una buena interacción y ésta debe ser estable en el tiempo, tanto en el almacenamiento como durante la operación de la carretera.
3. Se debe conocer las condiciones de modificación (temperatura, tiempo, dosis y velocidad de mezclado) que son recomendadas por el fabricante.

## **Criterios para escogencia de asfalto modificado ideal para un proyecto**

La siguiente propuesta consiste en un caso en el cual se debe tomar una decisión en cuanto a la compra de un asfalto para un proyecto de gran importancia. La propuesta será introducida mediante un caso de estudio. Los resultados de los análisis de laboratorio son reales y fueron analizados por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).

### *Caso Práctico*

El Departamento de Transportes de una región latinoamericana necesita construir una carretera de gran envergadura, para lo cual se hace una evaluación de las condiciones de la región donde se va a desarrollar el proyecto. Una vez evaluado el proyecto determinan lo siguiente: a) el rango de temperatura de la carpeta asfáltica medida a largo del proyecto es de 16 °C como temperatura

mínima y de 70 °C como temperatura máxima y b) la demanda de tránsito a que se someterá la carretera es menor a  $1 \times 10^7$  ESALs.

Para el proyecto se cuenta con cuatro oferentes los cuales aseguran que sus asfaltos modificados cumplen con las condiciones requeridas por los ingenieros.

## **Análisis de laboratorio y escogencia del asfalto ofertado**

### *Costo del asfalto*

El costo del asfalto es una variable de gran importancia y se debe asegurar un adecuado análisis costo/beneficio de las distintas alternativas. No obstante, para el caso de estudio se supondrá que todas las alternativas tienen costos comparables, de manera que la decisión se base únicamente en aspectos meramente técnicos o fundamentales del comportamiento del material.

### *Penetración*

Del análisis de los asfaltos de los oferentes en el laboratorio se obtienen los resultados de penetración mostrados en la Tabla 1.

**Tabla 1: Análisis de Resultados de Penetración**

Refinería	Resultado de penetración (mm/10)
A	45
B	51
C	56
D	51

Con base únicamente en los resultados obtenidos en la Tabla 1, sería de esperar que la selección del asfalto se realice con base en las siguientes observaciones: 1) si se espera que la deformación permanente sea el modo de falla dominante, probablemente se recomendará el asfalto con menor penetración (Refinería A); 2) si se espera que la fatiga sea el modo de falla dominante, probablemente se recomendará el asfalto con mayor penetración (Refinería C); si se pretende cubrir todo el rango de temperaturas del proyecto, probablemente se recomendará el asfalto con una penetración intermedia (Refinerías B o D), con la dificultad de que ambos poseen el mismo valor de penetración y no es posible discriminar entre ambos. No obstante, para cualquiera de los casos anteriores no hay certeza con base en el resultado de penetración que el asfalto se comporte adecuadamente o como se supuso.

En relación a los resultados de penetración y las observaciones anteriores hay que destacar que todos los criterios son acertados (con base en la información disponible). Sin embargo, no son consistentes con el desempeño del asfalto ya que esta prueba no refleja la dinámica funcional del mismo. Por tanto, con base en el criterio de los autores, no se debería tomar una decisión con tan limitada información.

### *Viscosidad Absoluta*

De los análisis de control de calidad realizados al asfalto se obtuvo lo indicado en la Tabla 2.

**Tabla 2: Análisis de Resultados de Viscosidad Absoluta**

Refinería	Resultado Viscosidad Absoluta (Poise)
A	5033
B	5541
C	8120
D	6421

Con base en los resultados de la Tabla 2 y realizando un análisis similar al del caso de penetración se tiene lo siguiente: 1) si se espera que la deformación permanente sea el modo de falla dominante, probablemente se recomendará el asfalto con mayor viscosidad (Refinería C); 2) si se espera que la fatiga sea el modo de falla dominante, probablemente se recomendará el asfalto con menor viscosidad (Refinería A); si se pretende cubrir todo el rango de temperaturas del proyecto, probablemente se recomendará el asfalto con una viscosidad intermedia (Refinería D). No obstante, al igual que en el caso del ensayo de penetración, sería inadecuado tomar una decisión con información tan limitada.

**Tabla 3: Selección de Asfalto de acuerdo a Penetración y Viscosidad Absoluta**

Característica	Penetración	Viscosidad Absoluta
Óptimo Deformación Permanente	A	C
Óptimo Fatiga	C	A
Óptimo Rango Temperaturas	B ó D	D

De la tabla anterior se puede observar que ambos métodos no son necesariamente consistentes entre sí. El único asfalto que podría considerarse como equivalente bajo ambos criterios es el de la Refinería D, si se escogiera el asfalto bajo la suposición de que dicho asfalto es el que se desempeñara de mejor forma para todo el rango de temperaturas de servicio del pavimento. No obstante, de los tres criterios analizados y con la información brindada por ambas pruebas, este criterio es el más subjetivo.

#### *Análisis Reológico a Temperaturas Altas*

**Tabla 4: Medición de PG de asfaltos modificados originales**

<b>G*/senδ ≥ 1,0 kPa, Asfalto sin envejecer</b>			
Temperatura	64 °C	70 °C	76 °C
Refinería			
A	3,07	1,49	0,76
B	3,01	1,49	0,77
C	5,27	2,69	1,42
D	3,55	2,00	1,16

De la Tabla 4 se puede concluir que todos los asfaltos cumplen la especificación de temperatura máxima que el proyecto requiere. Adicionalmente, la tabla permite observar que el comportamiento de los asfaltos no es lineal. Con base en la información anterior, los asfaltos con mayor resistencia a la deformación permanente son los provenientes de las Refinería C y D, siendo el asfalto de la Refinería C el que tiene una temperatura alta real del PG mayor (podría inclusive clasificar como un PG 82)

Por tanto, la tabla anterior también brinda información de la temperatura máxima de servicio del asfalto. Sin embargo, no refleja directamente la respuesta dinámica del asfalto.

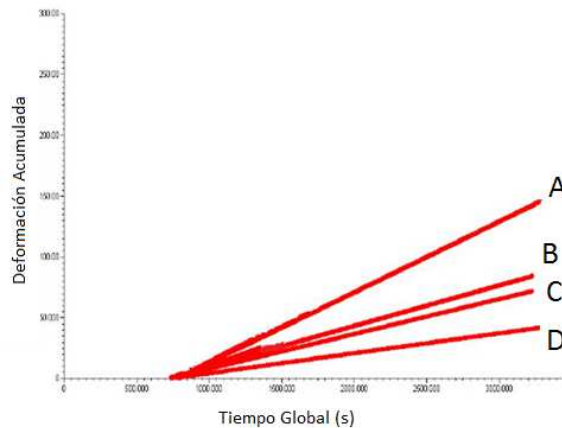
#### *Creep Recovery*

Para poder analizar la respuesta dinámica del asfalto en cuanto a deformación permanente, se pueden realizar ensayos como el de “creep recovery”. Este ensayo mide la deformación acumulada al final de una cantidad definida de ciclos de carga y descarga: la muestra es cargada por períodos de 1 s y se deja descansar por períodos de 9 s. El ensayo de Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) parte del mismo principio y puede ser utilizado para establecer el tipo de



tránsito que el asfalto será capaz de soportar en campo (esto debido a que el ensayo se está tratando de implementar como criterio de selección de asfaltos).

**Figura 3: Análisis de asfaltos en el DSR**



En la Figura 3 es posible visualizar que el asfalto proveniente de la Refinería D es el que presenta menor deformación plástica después de 250 ciclos de carga y descarga. El asfalto que presenta mayor susceptibilidad a la deformación permanente es el proveniente de la Refinería A.

De forma similar, se observa de la Tabla 5 que el asfalto de la Refinería D es el que presenta valores menores de creep compliance (J), según lo definido por el ensayo de MSCR. Adicionalmente se tiene que los asfaltos de las Refinerías A y B pueden ser utilizados en aplicaciones sujetas a niveles de tránsito menores a  $1 \times 10^7$  ESALs, el asfalto de la Refinería C puede ser utilizado para niveles de tránsito alto ( $1 \times 10^7 - 3 \times 10^7$  ESALs) y el asfalto de la Refinería D puede ser utilizado en usos de alto tránsito (más de  $3 \times 10^7$  ESALs).

**Tabla 5: Multi Stress Creep Recovery (MSCR)**

Condición	$J_{NR@3.2kPa}$	$(J_{NR@3.2kPa} - J_{NR@0.1kPa}) / J_{NR@0.1kPa}$
Tránsito estándar ( $< 1 \times 10^7$ ESALs)	$< 4$	$< 0,75$
Tránsito alto ( $1 \times 10^7 - 3 \times 10^7$ ESALs)	$< 2$	$< 0,75$
Tránsito muy alto ( $> 3 \times 10^7$ ESALs)	$< 1$	$< 0,75$
<b>Asfaltos evaluados en este estudio</b>		
A	3,180	0,26
B	3,284	0,37
C	1,575	0,26
D	0,510	0,33

*Temperaturas Bajas*

**Tabla 6: Medición de PG de asfaltos modificados envejecidos con PAV**

<b>G*sen<math>\delta</math> ≤ 5,0 MPa, Asfalto PAV</b>			
Temperatura	13 °C	22 °C	25 °C
Refinería A	-	4,09	-
B	4,15	-	-
C	-	-	4,01
D	-	4,79	-

De la Tabla 6 se puede concluir que a excepción del asfalto de la Refinería B, todos los asfaltos incumplen la especificación de temperatura mínima que el proyecto requiere. Con base en la información anterior, el único asfalto que cumple con todos los requisitos del proyecto es el de la Refinería B. Adicionalmente, existe una alta posibilidad de que los asfaltos restantes puedan ser más susceptibles a la falla por fatiga.

## CONCLUSIONES

1. Es esencial que se conozcan los requerimientos de las carreteras (temperatura y carga de tránsito) para determinar las características de los materiales que se deben utilizar para lograr el desempeño del pavimento que se va a construir.
2. La selección del asfalto para satisfacer los requerimientos de un determinado proyecto debe realizarse mediante el uso de propiedades fundamentales de los materiales. El uso de reología para determinar la respuesta del asfalto ante esfuerzos y condiciones ambientales externas, suministra la información necesaria para caracterizar y diferenciar materiales viscoelásticos como el asfalto.
3. Dado que el asfalto, como componente de la mezcla asfáltica, está expuesto a cargas dinámicas, se vuelve necesario analizarlo la respuesta dinámica del mismo. Para esto, la metodología de Multi Stress Creep Recovery (MSCR) ha demostrado ser una herramienta útil para la selección del tipo de asfalto de acuerdo a la cantidad de cargas dinámicas esperadas durante la vida de un determinado proyecto.

## REFERENCIAS

- Aguiar, J.P., Prozzi, J.A., Tahmoressi, M., « Optimum Number of Superpave Gyration based on Project Requirements », Transportation Research Record, No. 2001, 2007.
- Bahia, H.U., Hanson, D.I., Zeng, M., Zhai, H., Khatri, M.A., Anderson, R.M., « Characterization of Modified Asphalt Binders in Superpave Mix Design », Reporte NCHRP No. 459, 2001, NCHRP.
- Coomarasamy, A., Hesp, S.A.M., “Performance of scrap tire rubber modified asphalt paving mixes”, Rubber World, 1998.
- Daly, W.H., Negulescu, I.I., Glover, I., « A Comparative Analysis Of Modified Binders: Original Asphalts And Materials Extracted From Existing Pavements », Reporte No. FHWA/LA.10/462, 2010, LTRC.
- Halstead, W.J., Welborn, J.Y., « History of the Development of Asphalt Testing Apparatus and Asphalt Specifications », Association of Asphalt Paving Technologists Proceedings, Vol. 43A, pp. 89-120, 1974.
- Lukanen, E.O., Stubstad, R., Briggs, R., « Temperature Predictions and Adjustment Factors for Asphalt Pavement », Reporte No. FHWA-RD-98-085, 2000.