

## **DE LA CONSISTENCIA AL DESEMPEÑO**

### **Nueva tendencia en la compra, control de calidad y diseño de los ligantes asfálticos en Latinoamérica**

Rafael Ernesto Villegas-Villegas<sup>1</sup>, José Pablo Aguiar-Moya<sup>2</sup>, Luis Guillermo Loría-Salazar<sup>3</sup>, Alejandro Navas-Carro<sup>4</sup>

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.

#### **Resumen**

El alto costo de los combustibles hacen que estos 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 más deficientes.

Los modificadores de asfalto son utilizados para mejorar las propiedades del asfalto y su desempeño a lo largo de la vida útil del mismo, sobre todo en fenómenos de deformación permanente, fatiga, agrietamiento térmico, adhesividad y daño por humedad.

La composición química del polímero y por ende sus propiedades físicas inherentes, hacen que cada polímero tenga un efecto propio sobre el asfalto y formas de incorporación variables de acuerdo a la naturaleza de ambos.

Históricamente las técnicas de modificación en muchos de los casos, se hace de forma cualitativa basada ya sea en la experiencia del que modifica, o siguiendo indicaciones del fabricante, sin realizar un estudio previo de sus materiales de partida y de las condiciones del proceso de modificación, además de las variables que afecten a este.

El LanammeUCR ha trabajado en el área de asfaltos modificados impulsando estudios de alto nivel tecnológico, los cuales permiten dilucidar el comportamiento de los polímeros y de estos en los asfaltos modificados.

En este trabajo se hace uso de técnicas de ciencias de materiales como Microscopia de Fuerza Atómica, Reología, Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC), Análisis Termo gravimétrico (TGA), los cuales proporcionan información importante para el diseño de las condiciones del proceso de modificación, en base a parámetros cualitativamente evaluados.

El estudio gesta toda una metodología integral para el control de calidad no solo de los materiales de partida, asfalto y modificante, también el del producto final, asfalto modificado, en un esquema de sencilla aplicación metodológica pero de alta eficacia en la aceptación o rechazo del asfalto modificado, según los parámetros de desempeño requeridos.

**Keywords:** Modified binders, Polymer, DSR, Raman, TGA, DSC, Iatroscan, AFM.

#### **Objective**

Realizar una síntesis esquemática de la metodología de modificación asfáltica propuesta de manera clara, objetiva, didáctica y eficaz, de modo que el lector tome la decisión correcta en el uso de un modificante en una matriz asfáltica.

## 1. Introducción

En el año 1870 en Estados Unidos se construye la primera planta de mezcla asfáltica para pavimentar la avenida Pennsylvania, este hecho histórico marca el nacimiento del empleo a gran escala de uno de los materiales hoy por hoy más utilizados en el mundo, el asfalto.

La utilización masiva de este material conlleva a la búsqueda de un control de calidad del mismo, el cual comienza con pruebas con un alto grado de empirismo. Es importante conocer históricamente cual ha sido la evolución del control de calidad para situarse en la actualidad y la rigurosidad de los parámetros que en están vigentes en la cotidianidad del lector.

Las especificaciones primeras utilizadas en el asfalto fueron:

### Asfaltos de lago

- Apariencia.
- Solubilidad en disulfuro de carbono.

### Asfaltos refinados de petróleo

- Masticación.
- Máquina de penetración.

La medición de viscosidad absoluta en el asfalto dio otro parámetro más sensible en el control de calidad de los bitúmenes, este ensayo es el que por muchos años rigió la compra, control de calidad y diseño de los ligantes asfálticos, pero esta metodología no resultaba suficiente para garantizar el desempeño del asfalto, ni tampoco para explicar el comportamiento del mismo en servicio.

Durante los años 90, como resultado de SHRP, la metodología Superpave® fue altamente novedosa en términos de caracterización de ligantes asfálticos puesto que se incorporó el concepto de desempeño del ligante y el efecto de la temperatura en el mismo, algo que las metodologías previas de caracterización de ligantes (ej. penetración, viscosidad) no consideraban directamente (1,2,3).

Las metodologías utilizadas hasta antes de Superpave daban una pequeña idea del comportamiento del ligante, al tener este un comportamiento viscoelástico y con estas solo se puede medir consistencia o capacidad de fluir a condiciones puntuales de temperatura. En el caso de los ligantes modificados estos métodos son ineficientes. Adicionalmente, la mejoría en las tecnologías disponibles para caracterizar materiales ha crecido considerablemente por lo que hoy por hoy existe una gran gama de equipos y ensayos que miden diversas propiedades químicas, físicas y visco-elásticas de los ligantes asfálticos y los modificantes de los mismos.

Es importante para el lector que se inicia en el estudio de los ligantes asfálticos el conceptualizar en la naturaleza propia del material, su desempeño y los análisis de medición que existen, así como la información real que brindan, pues en el ámbito de carreteras es común encontrar personas conocedoras en el tema de mezclas asfálticas, pero es poco común en el tema de asfaltos,

conformándose muchas veces con comparar el valor obtenido en el ensayo y cerciorarse con que cumpla con lo establecido en la normativa.

## **Estudio de la escogencia óptima de un ligante asfáltico en referencia al proyecto dónde se va a utilizar bajo condiciones de servicios.**

El presente trabajo 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 envergadura. Los resultados de los análisis de Laboratorio son reales y fueron analizados en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).

### **1.0 Caso Práctico**

El Ministerio de Obras Públicas y Transportes de un país Latinoamericano necesita construir una carretera de gran envergadura, para eso envía un grupo de ingenieros a evaluar 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.
- b) El tránsito que utiliza 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 medidas por los ingenieros. Dichos oferentes son:

- Refinería Central
- Asfaltos del Pacífico
- Bitúmenes del Caribe
- Betunes asfálticos de la Sierra

### **1.1 Terminología importante**

Asfalto: Material que a temperaturas bajas se comporta como un cuasi-sólido y a temperaturas altas se comporta como un cuasi-líquido, pero que por lo general tiene un comportamiento viscoelástico. No es homogéneo, más bien es heterogéneo y varía inclusive de dos posos que estén próximos.

Desempeño del asfalto y ley de disipación de energía:

- Un ligante con mayor rigidez ofrece más resistencia a la generación de roderas [*cargas causan roderas*].
- Un ligante con menor rigidez mejora la resistencia al daño por fatiga [*fatiga depende de deformación*].

Compra de Ligante Asfáltico:

- Toda compra grande o pequeña necesita especificación.

- Se requiere especificar la compra con las características deseables del asfalto (tal y como lo hicieron los ingenieros del caso en las recomendaciones)
- El alto costo de los combustibles hace que los procesos de refinación del crudo sea cada vez mejor incidiendo en asfaltos de más mala calidad, esto por ser remanente del proceso. Por otro la elevación en el flujo y las cargas vehiculares, además de un clima en constante cambio, influyen en la necesidad de ensayos de control de calidad cada vez más exhaustivos.
- Las nuevas técnicas de análisis y los equipos de alta tecnología existentes, brindan información más exhaustiva sobre el desempeño del ligante.

## **2.0 Análisis de laboratorio y escogencia del ligante asfáltico ofertado.**

Es importante recalcar que en este trabajo no se pretende abordar todas las pruebas necesarias para un adecuado control de calidad del asfalto, se comentara sobre los ensayos que tienen una ponderación de influyente en la decisión de compra.

### **2.1 Penetración**

El ensayo de penetración desde su concepción se diseño utilizando una aguja de máquina de coser No. 2, donde se especifican 100 g carga, 5s de tiempo y la temperatura que generalmente es 25°C.

#### **2.1.1 ¿Qué mide la penetración?**

Únicamente consistencia, o sea que tan dura o tana blanda es la muestra.

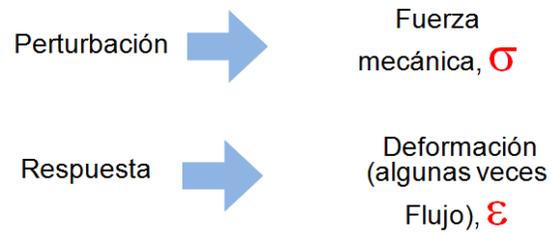
#### **2.1.2 Ventajas:**

- Análisis relativamente rápido y sencillo.
- No se requieren equipos sofisticados ni condiciones difíciles de conseguir.
- Instrumentación poco costosa.
- Metrológicamente fácil de controlar.

#### **2.1.3 Desventajas:**

- Prueba empírica.
- No mide las propiedades viscoelásticas del asfalto.
- No refleja el desempeño del ligante.
- Temperatura
- Penetraciones similares a 25°C no muestran diferencias entre asfaltos disímiles.

## Reología

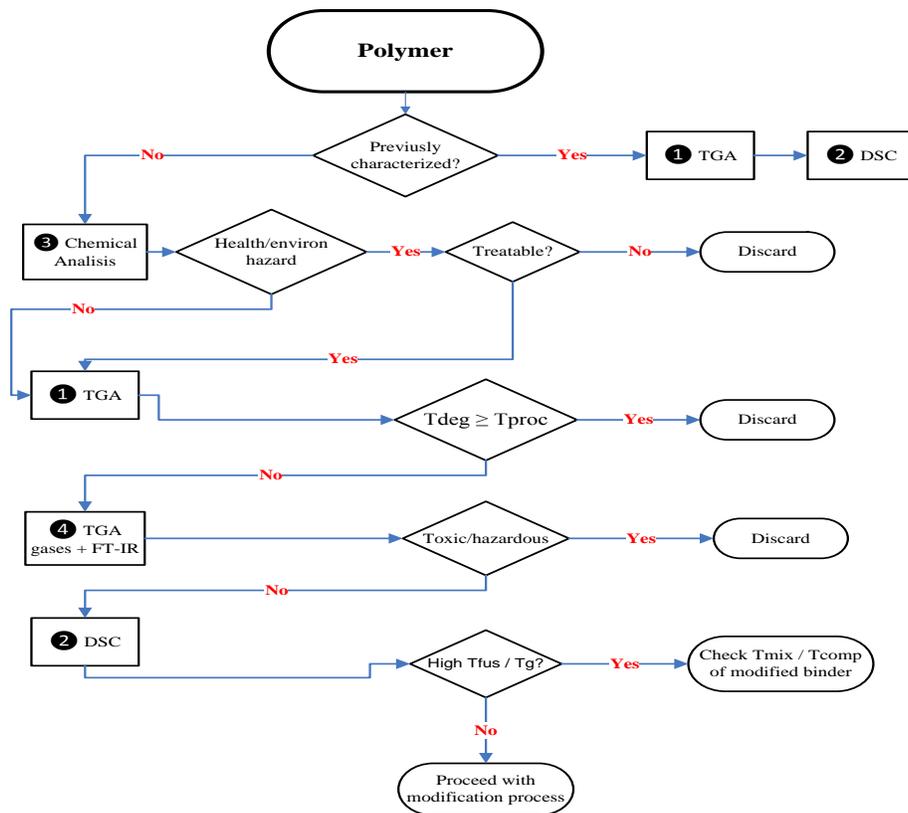


### **A- Asfalto Original**

Aunque el control de calidad al asfalto original está bien dominado, se cree pertinente realizar las siguientes recomendaciones de cara a obtener éxito en la modificación:

- Tener claro los requerimientos de PG del proyecto, con el fin de realizar una escogencia de un asfalto base de alta o baja viscosidad según lo que se quiera mejorar, ya sea deformación permanente a altas temperaturas de servicio, o fatiga a temperaturas bajas e intermedias.
- Se recomienda caracterizar el ligante por PG a tres temperaturas, ejemplo si es 64 medir a 58,64 y 70, esto con el fin de hacer un cálculo de PG real a partir de la ecuación de la recta, pues el sistema de PG castiga con 6 grados centígrados el asfalto. Cuando se calcula el porcentaje de polímero a adicionar no es lo mismo saber que el asfalto es 64 (clasificación por normativa) que 69 (calculado real) como parámetro para la dosificación.
- Revise por seguridad el Flash Point del ligante original.

### **B- Polymer**



### 1 Análisis Termogravimétrico (TGA)

En general, la técnica es utilizada para determinar la descomposición del material y para predecir su estabilidad térmica, en el caso de los modificantes es importante saber si su temperatura de degradación es mayor que la temperatura de modificación y mezclado en planta, también para los modificantes provenientes de desechos industriales nos evidencia contaminación por volatilización con otros productos. En la Figura XX se muestra el equipo utilizado para realizar dicho análisis.



Figura xxx. Equipo para Análisis Termogravimétrico (Fuente: LanammeUCR)

Se realizó un ensayo de termogravimetría a la bolsa de polietileno que cubre el banano en la plantación, el cual se utilizó como modificante de asfalto, mostrando que el material inicia su degradación hacia los 150°C, entre esta temperatura y los 325°C se observó la pérdida de un 6.6% producto de que el polietileno de la bolsa estaba expuesto en la plantación a muchos productos utilizados en la misma, en los 450°C se presentó la degradación total.

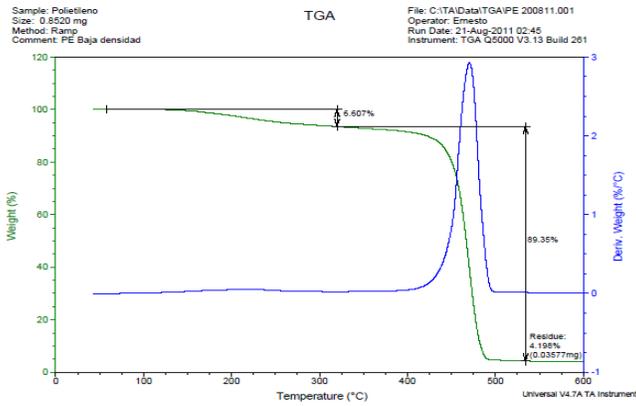


Figura xxx. Análisis de TGA Polietileno.

### 2 Barrido Calorimétrico por Escaneo Diferencial (DSC)

El análisis se usa comúnmente en la determinación de las transiciones térmicas de primer orden (fusión y cristalización) y de segundo orden (transición vítrea), las cuales son de especial interés en el caso de modificantes para asfaltos (5,6), puesto que la técnica no solo ayuda a la identificación del material si no también, permite decidir la temperatura de incorporación del modificante en el asfalto. En el caso del polietileno a partir de los 121,60C.



Figura xxx. Equipo DSC

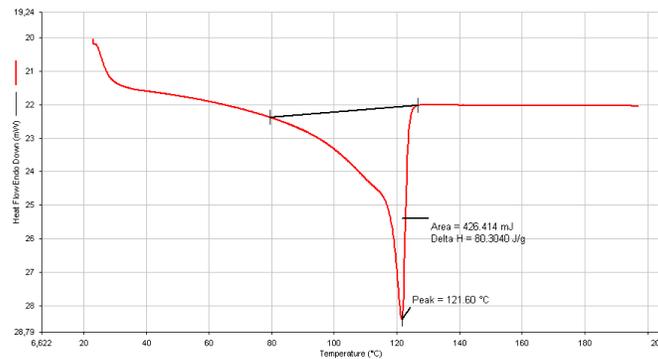


Figura XXX. Análisis DSC de Polietileno

### 3 Análisis químico del modificante

El análisis químico es importante si el modificante es desconocido o se necesita hacer un control de calidad del mismo por sospechas en su falta de efectividad, en ambos casos es importante conocer la composición química no solo por su accionar en el desempeño del asfalto modificado, si no por corroborar que no sea tóxico ni contamine al ambiente.

El tipo de análisis químico depende no solo del material a analizar, sino también de las posibilidades del analista. De la experiencia obtenida en el análisis de polímeros, la espectrometría Raman es ventajosa, pues obtener la composición química de materiales y diferentes compuestos sin tener que realizar tratamiento de la muestra, la cual puede estar en estado sólido, líquido o gaseoso.

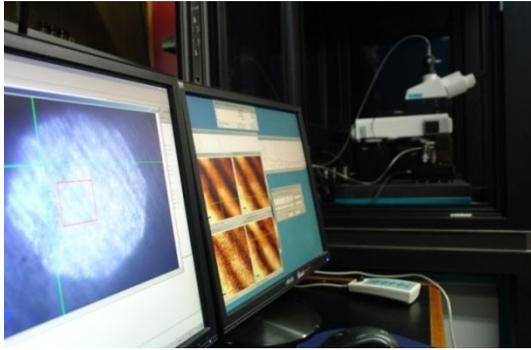


Figura XX. Espectrómetro Raman con Microscopio de Fuerza Atómica (Fuente: LanammeUCR)

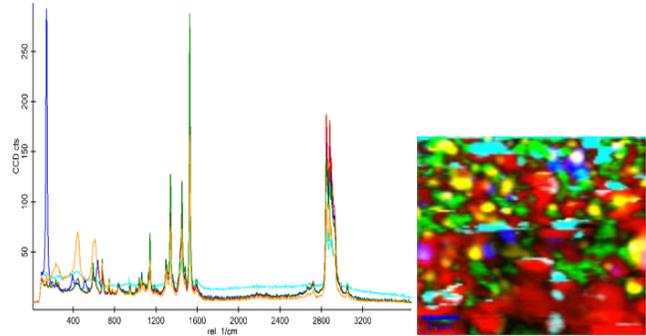
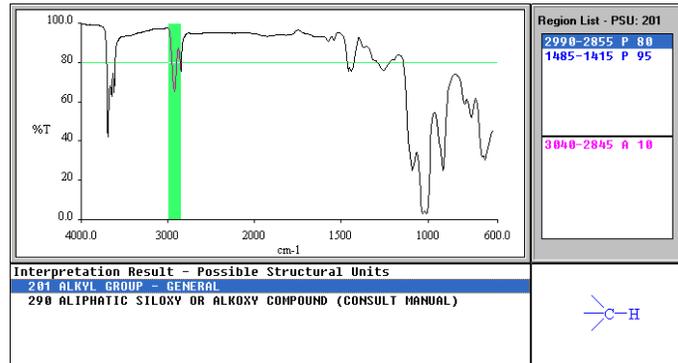


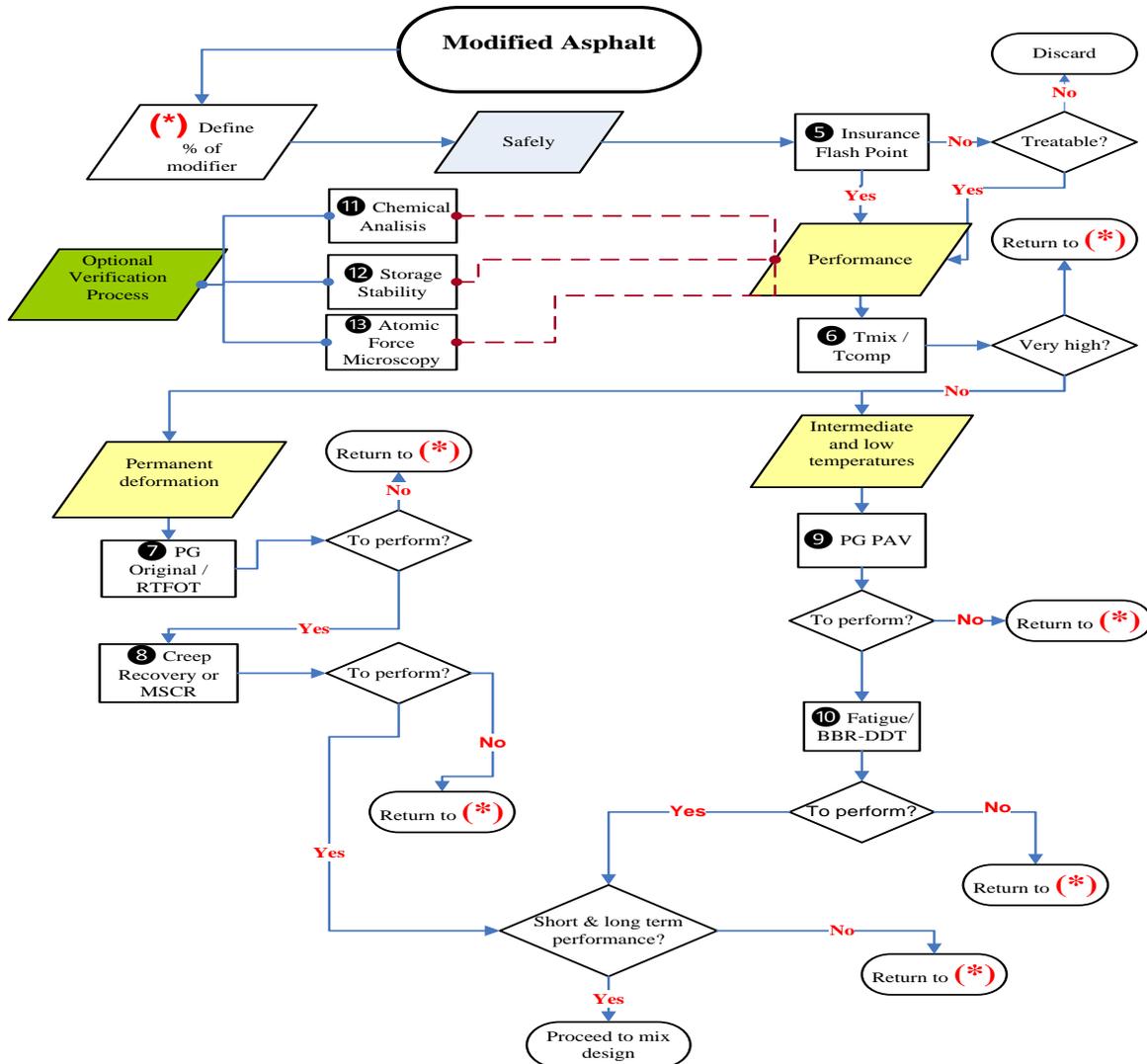
Figura xx. Espectro Raman del Polietileno, los colores del espectro corresponde a los de la imagen.

#### 4 Análisis de FT-IR Gases acoplado al TGA

Esta técnica permite identificar químicamente los gases emanados por el TGA en toda la cinética termogravimétrica del material, brindando información de los gases que se podrían emanar durante el proceso de modificación o de producción en planta. Como anteriormente se denotó en el análisis de TGA del polietileno el 6,6% desprendido antes de los 325C, se determinó por FT-IR Gases que eran emanaciones de gases clorados y sulfoclorados provenientes de pesticidas en especial clorophyrifos.



## C- Asfalto Modificado



### 5 Flash Point

La importancia de este análisis está dado que es una medida de seguridad tanto en la producción del ligante como de la mezcla asfáltica, el omitir realizarla podría causar no sólo accidentes laborales graves si no también la pérdida material de la planta de producción.

### 6 Cálculo de Temperatura de Mezclado y Compactación

Es imprescindible realizar la medición de este parámetro antes de proceder con los demás análisis, puesto que aunque el veredicto final de calidad sea positivo, una inadecuada temperatura de mezclado y compactación incidirían en problemas de mezclado en planta y compactación en carretera de la mezcla asfáltica.

### 7 PG Original and RTFOT Binder

De gran utilización en el control de calidad de asfaltos e imprescindible en el diseño moderno de asfaltos modificados, las mediciones de PG a altas temperaturas de servicio brindan información importante sobre el desempeño del ligante a la deformación permanente producto de las altas temperaturas del pavimento, las bajas velocidades del tránsito y las altas cargas vehiculares.

Para simular las condiciones de envejecimiento en un pavimento real los asfaltos son envejecidos en laboratorio empleando el horno de película delgada rotacional (RTFO) que simula el endurecimiento por envejecimiento u oxidación que ocurre durante el proceso de mezclado en caliente y la colocación en carretera.

<b><math>G^*/\text{sen}\delta \geq 1,0</math> kPa, Asfalto sin envejecer</b>			
<b>Temperatura de Ensayo</b>	64 °C	70 °C	76 °C
<b>AC-30</b>	1,78	0,89	0,47
<b>AC-30 + SBS</b>	5,39	2,72	1,44
<b><math>G^*/\text{sen}\delta \geq 2,2</math> kPa, Asfalto envejecido en RTFO</b>			
<b>Temperatura de Ensayo</b>	64 °C	70 °C	76 °C
<b>AC-30</b>	5,97	2,94	1,47
<b>AC-30 + SBS</b>	18,80	10,02	5,24

### **8 Creep Recovery or MSCR**

La importancia de estos ensayos es que realizan mediciones dinámicas del material, tratando de evidenciar el comportamiento del mismo en servicio bajo condiciones probables de desempeño en carretera. El creep recovery mide la deformación al final de los ciclos programados cargando la muestra por 1s dejando que se recupere por 9s, al final se mide la deformación permanente acumulada y se comparan las muestras. **El MSCR parte del mismo principio pero es capaz de predecir para que tipo de transito es factible el desempeño del ligante.**

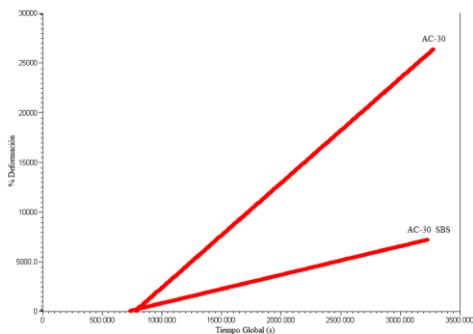


Figura XX. Creep Recovery AC-30 and AC-30 SBS Binder

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>		
AC-30	7,344	0,22
AC-30 + SBS	1,575	0,26

Figura XX. MSCR AC-30 and AC-30 SBS Binder

## 9 PG PAV

El equipo de envejecimiento a presión (PAV) se utiliza en el laboratorio para simular el severo envejecimiento que sufre el asfalto después de varios años de servicio en un pavimento, este equipo solo se utiliza para condicionar, el aporte cuantitativo lo da las mediciones reológicas de  $G^*/\text{sen}\delta$ , mostrando la reacción del ligante a la fractura a temperaturas intermedias.

<b><math>G^*/\text{sen}\delta \leq 5,0 \text{ MPa}</math>, Asfalto PAV</b>		
Temperatura de Ensayo	13 °C	22 °C
AC-30	-	4.1426
AC-30 + SBS	4.1975	-

## 10 Fatiga-*BBR-DDT*

El ensayo por **fatiga** permite conocer de forma dinámica en comportamiento del material a la ruptura a bajas temperaturas, pudiendo ser analizada la muestra por medición directa de fatiga en un ciclo de carga o por energía disipada.

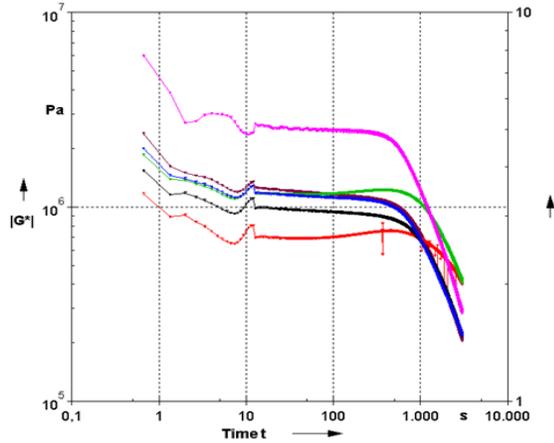


Figura XX. Medición de fatiga a diversos asfaltos modificados

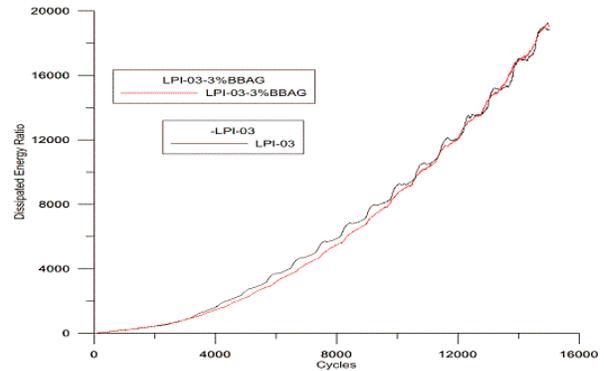


Figura xx. Calculo de energía disipada de asfalto original y modificado con SBS

- (**BBR = Bending Beam Rheometer**) se usa para caracterizar las propiedades del modulo de rigidez del asfalto a bajas temperaturas, que es cuando el asfalto se comporta como un solido elástico, determinando la temperatura mínima a la cual el asfalto puede ser utilizado.

- (**DDT = Direct Tension Test**) mide la deformación específica de falla en tracción sobre viga que es estirada a bajas temperaturas hasta que se corta. Este ensayo permite conocer la máxima resistencia del asfalto al fisuramiento para una baja temperatura por dos procedimientos de ensayo: El ensayo de corte Superpave (SST = Superpave Shear Tester) y el Ensayo de Tracción Indirecta (IDT = Indirect Tensile Tester).

### Optional Verification Process

Estas pruebas aportan una información importante no sólo en la toma de decisiones en la aceptación del producto final, también brinda información del comportamiento del modificador y su influencia positiva o negativa en el asfalto modificado. En esta metodología estos análisis son denotadas como opcionales porque no siempre se encuentra con los equipos para realizarlas y porque en muchos de los laboratorios de control de calidad de asfaltos no se aplican.

## 11 Chemical Analysis

### Cromatografía SARA

El análisis SARA permite determinar cuál es el porcentaje de los cuatro componentes del asfalto (Saturados-Aromáticos-Resinas-Asfaltenos). El análisis cromatográfico además de mostrar el

comportamiento del Ligante en base a su composición, referencia la afinidad o la poca miscibilidad entre el polímero y el asfalto referenciado al incremento o decrecimiento de alguna de las familias de compuestos de este. El análisis SARA se realizó con el equipo mostrado en la Figura xx, pero se puede realizar por método no instrumental de columna.



Figura xxx. Equipo para Cromatografía Iatroscan (Fuente: LanammeUCR)

### *Análisis Infrarrojo con Transformada de Fourier*

#### **12** *Estabilidad al almacenamiento*

#### **13** *Microscopía de Fuerza Atómica (AFM)*

El análisis se utiliza obtener información sobre la topografía, la rugosidad, la dispersión y la adherencia de muestras de asfalto modificado. Se observa que el SBS se dispersa uniformemente sobre la matriz asfáltica.

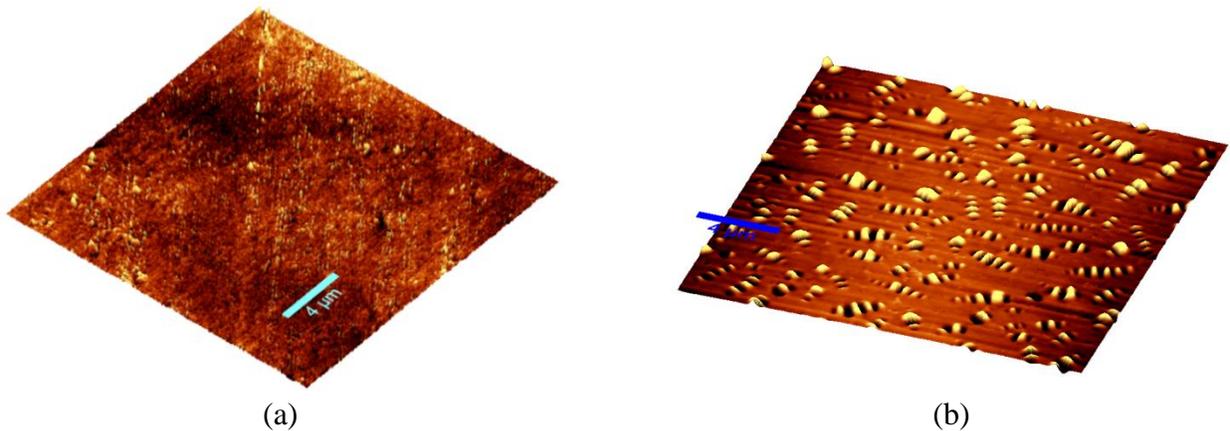


Figura xx. Topografía AFM para (a) asfalto AC-30 y (b) asfalto AC-30 con SBS

### **3. Conclusiones**

Las nuevas técnicas instrumentales proveen una herramienta muy poderosa para la caracterización físico-química de los materiales, identificando las propiedades de los materiales de partida (en este caso SBS y asfalto). De igual manera permite evidenciar los cambios ocurridos en el asfalto modificado con el polímero y su interpretación ayuda a clarificar si existe una mejora significativa en las propiedades requeridas del material.

Adicionalmente, los análisis térmicos (TGA y DSC) ayudan a comparar cuales son los polímeros que se pueden comportar mejor durante su incorporación al asfalto, y proveen información de cuál será su desempeño en servicio.

En el caso de el presente estudio, se observó que el SBS incrementó el grado PG en 12 °C, y desde el punto de vista de resistencia al ahuellamiento, elevó las posibilidades de uso del asfalto sin modificar, de aplicaciones únicamente para caminos de bajo volumen (con pocos vehículos pesados), al de un asfalto capaz de soportar tráfico pesado y altos volúmenes de tránsito. Como objetivo del estudio se quería verificar que la capacidad del asfalto a resistir deformación permanente se incrementaría al adicionar un polímero SBS. No obstante, es importante para diversos proyectos, verificar la resistencia del asfalto a la fatiga, aunque dadas las propiedades del polímero (elastómero), se espera que dicho asfalto modificado también presente un incremento en su resistencia a la flexo-tracción.

En general, la principal característica que se busca del asfalto modificado, es su desempeño y su trabajabilidad a las condiciones de diseño. La metodología de análisis utilizada va en función no solo de un mejor proceso productivo de los asfaltos modificados, si no que da una explicación exhaustiva a los parámetros reológicos obtenidos, los cuales permiten predecir cómo se comportará el asfalto modificado bajo sus distintas condiciones de servicio en campo.

Este desarrollo empleado busca disminuir el uso de técnicas y ensayos empíricos con las cuales los asfaltos modificados se han caracterizado históricamente, tratando de cuantificar y evidenciar el comportamiento de los materiales de forma reproducible, con base en las propiedades intrínsecas de los mismos.

#### **4. Referencias**

1. McGennis, R.B.; Shuler, S.; Bahia, H.U. *Background of SUPERPAVE Asphalt Binder Test Methods*. Federal Highway Administration Report No. FHWA-SA-94-069. Washington, D.C., 1994.
2. McGennis, R.B.; Anderson, R.M.; Kennedy, T.W.; Solaimanian, M. *Background of SUPERPAVE Asphalt Mixture Design and Analysis*. Federal Highway Administration Report No. FHWA-SA-95-003. Washington, D.C., 1995.
3. West, R.C.; Watson, D.E.; Turner, P.A.; Casola, J.R. *Mixing and Compaction Temperatures of Asphalt Binders in Hot-Mix Asphalt*. Transportation Research Board NHCPR Report 648. Washington, D.C., 2010.
4. Kuptsov, A.H. (1994). *Applications of Fourier Transform Raman Spectroscopy in Forensic Science*. Journal of Forensic Sciences, JFSCA, Vol. 39, No. 2, pp. 305-318, Marzo 1994.
5. Elseifi, M.; Mohammad, L.N.; Glover, I.; Negulescu, I.I.; Daly, W.H.; Abadie, C. *Relationship between Molecular Compositions and Rheological Properties of Neat Asphalt Binder at Low and Intermediate Temperatures*. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 22, No. 12, pp. 1288-1294, Diciembre 2010.
6. Daly, W.H.; Negulescu, I.I.; Glover, I. *A Comparative Analysis Of Modified Binders: Original Asphalts And Materials Extracted From Existing Pavements*. Federal Highway Administration Report No. FHWA/LA.10/462. Baton Rouge, LA, 2010.
7. Corbett, L.W. *Relationship between composition and physical properties of asphalt*. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 39, pp. 481-491. 1970.
8. Mooney, K. *Current Status for Multiple Stress Creep Recovery*. North East Asphalt User / Producer Group Annual Meeting. Atlantic City, NJ, 2008.

9. Wei, J.B.; Shull, J.C.; Lee, Y.J.; Hawley, M.C. *Characterization of Asphalt Binders Based on Chemical and Physical Properties*. International Journal of Polymer Analysis and Characterization, Vol. 3, No. 1, pp. 33-58, 1996.