

Nano-materiales en el desempeño del Asfalto

Nano-materials in asphalt performance

Fabrizio Leiva-Villacorta¹, José Pablo Aguiar-Moya¹, Rafael Ernesto Villegas-Villegas¹, Jorge Salazar-Delgado¹, Luis Guillermo Loría-Salazar¹

¹ *Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.*

RESUMEN

La creciente necesidad de mejorar las propiedades de desempeño de los ligantes a lo largo de la vida útil del mismo, es imperante en la industria de las carreteras. Lo anterior en aras de minimizar la incidencia de mecanismos como la deformación permanente, la fatiga, el agrietamiento térmico, la adhesividad y el daño por humedad. Además de estas propiedades es de sumo interés el estudio de la cinética de envejecimiento y oxidación de los ligantes asfálticos y por ende la utilización de metodologías de ciencia e ingeniería de materiales para el diseño de los asfaltos.

Los nano-materiales han tomado un auge científico-industrial debido a sus propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas, entre otras. Adicionalmente, la producción masiva por parte de la industria de nano-materiales, ha generado que los precios de los mismos tiendan a la baja y a su vez, ha incidido en el auge de la modificación de asfaltos con nanos para tratar de mejorar el material. No obstante, la composición química del nano-material y por ende sus propiedades físicas inherentes, hacen que cada nano-material tenga un efecto propio sobre el asfalto y formas de incorporación variables de acuerdo a la naturaleza de ambos.

En este artículo se evalúa en efecto de la incorporación de nano-materiales a la matriz del ligante asfáltico en pro de mejorar la calidad del mismo. Los nanomateriales evaluados corresponden a nano sílica y nano tubos de carbono de doble capa. El ligante asfalto evaluado corresponde a un PG64-22. Para poder cuantificar el efecto de la modificación se emplean técnicas de caracterización superficial, morfológicas, reológicas y de termoanálisis, tales como Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC), Análisis Termogravimétrico (TGA), además de análisis espectroscópicos como Infrarrojo FTIR, RAMAN y la técnica de Microscopía de Fuerza Atómica AFM. Dichos métodos de ensayo proporcionan información física y química que permite inferir sobre las condiciones del proceso de modificación, con base en parámetros cualitativamente evaluados. Todo lo anterior con la finalidad de asegurar un desempeño adecuado del asfalto.

ABSTRACT

The growing need to improve the performance properties of the binders throughout its life, is dominant in the industry of roads. The above in order to minimize the occurrence of failure mechanisms such as permanent deformation, fatigue, thermal cracking, adhesiveness and moisture damage. In addition to these properties, it is of great interest to study the kinetics of aging and oxidation of asphalt binders and therefore the use of methodologies of science and engineering of materials for the design of asphalts.

Nanomaterials have taken a scientific-industrial boom due to their mechanical, thermal and electrical properties, among others. Additionally, mass production by the nano-materials industry, has meant that prices tend to reduce which has influenced the increase of the modification of asphalt with nano-materials to try to improve the material. However, the chemistry of the nano-material, and thus their inherent physical properties, makes each nano-material to have specific effects on the asphalt and variable blending forms depending on their nature.

This paper evaluates the effect of incorporation of nano-materials to the asphalt binder matrix towards improving its quality. The evaluated nano-materials correspond to nano-silica and double-layer carbon nano-tubes. The asphalt binder evaluated corresponds to a PG64 - 22. Characterization, morphological, rheological and thermal analysis techniques were used to quantify the effect of asphalt binder modification. Such techniques were Differential Scanning Calorimetry (DSC), thermogravimetric (TGA) analysis, as well as Infrared spectroscopic analyzes of FTIR, RAMAN and Atomic Force Microscopy AFM. These test methods provide chemical and physical information that allows inference about the conditions of the modification process, based on parameters evaluated qualitatively. All this in order to ensure proper performance of the asphalt.

PALABRAS CLAVES: Asfaltos modificados, Nanotubos de carbono, Nanosílice, DSR, microscopía RAMAN, TGA, DSC, AFM, FTIR.

KEY WORDS: *Modified Asphalts, Carbon Nanotubes, Nano-silica, DSR, RAMAN Microscopy, TGA, DSC, AFM, FTIR.*

1. INTRODUCCIÓN

El término “nanotecnología” se empezó a conocer en el año 1959 por el físico cuántico Richard Feynman (Drexler, 2004). A partir de este momento se han desarrollado dos áreas de gran importancia para el desarrollo e implementación de dichas tecnologías: la nanociencia que se dedica al estudio de las propiedades de los objetos y fenómenos a escala nanométrica y la nanotecnología que trata de la manipulación “controlada” y la producción de materiales, instrumentos, estructuras y sistemas a dicha escala.

En relación a lo anterior, en Costa Rica se desarrollan alternativas que buscan el mejoramiento del ligante asfáltico con un verdadero entendimiento de la nanotecnología. Así el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeCR) de la Universidad de Costa Rica ha tenido como consigna:

- Estudiar y evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de diferentes materiales que están presentes y podrían ser utilizados en la infraestructura vial.
- Establecer especificaciones para los materiales congruentes con las condiciones nacionales (características climáticas, variación de materiales, técnicas constructivas y demanda de tráfico).
- Desarrollar y/o calibrar modelos de predicción de comportamiento de materiales, basados en el comportamiento mecánico o fundamental de los mismos, para las condiciones nacionales.

De esta forma el LanammeUCR se desempeñan en el campo del desarrollo científico, tecnológico y académico a nivel nacional, realizando investigación y desarrollo en materiales y asfaltos que van desde la escala nanométrica, hasta pruebas que permiten caracterizar el desempeño de los materiales a escala natural. Esto con la finalidad de desarrollar nuevas metodologías de análisis, modificación de materiales existentes y la posibilidad de desarrollo de nuevos materiales tendientes a una mejora significativa en carretera.

1.1 Objetivo

El objetivo de este estudio es mostrar las ventajas asociadas al uso de nanomateriales en el comportamiento de un asfalto, mediante la aplicación de técnicas de caracterización avanzada de materiales.

2. CARACTERIZACIÓN AVANZADA DE MATERIALES Y NANOMATERIALES

El primer paso en el proceso de modificación asfáltica exitoso es el de tener claro, a modo general, cuales son las etapas necesarias para obtener un producto bien incorporado y con las características de desempeño óptimas según sean requeridas por el diseño. Por tanto, es importante tener en cuenta:

1. Caracterización físico-química de los materiales involucrados en la modificación y diseño del proceso.
2. Estudio y control de la cinética del proceso de incorporación en el asfalto.
3. Control de calidad del asfalto modificado basado en la caracterización físico-química del material y la evaluación de desempeño a las condiciones para las cuales fue diseñado.

Por tanto, con la finalidad de mejorar el desempeño del asfalto que se distribuye en Costa Rica (AC-30, que puede clasificarse adicionalmente como un PG64-22) en el rango de temperaturas altas e intermedias de operación, y dentro del marco de consideraciones mencionadas anteriormente, se evaluó el uso de nanotubos de carbono (NTC) y nanosílice en distintas concentraciones. Para el presente estudio se consideró el uso de dichos modificantes en una dosificación de 0,5%, 3.0% y 6.0% en masa total de asfalto para la nanosílice y 0.5% y 3.0% para los NTCs. La nanosílice es una nanopartícula con un tamaño de partícula de 12 nm, punto de fusión mayor a 1600 °C. Por su parte, los NTCs de pared múltiple, poseen un diámetro promedio de 9,5 nm y tienen un 90% de pureza.

Entre los análisis realizados para la verificar la calidad, la composición química, la variación en los parámetros termodinámicos y el desempeño de los materiales, se describen a continuación las técnicas de análisis que se han empleado para caracterizar los nanomateriales utilizados y los asfaltos modificados con dichos materiales, así como los resultados obtenidos con los mismos.

2.1 Análisis químico del modificante

El análisis químico es importante tanto como herramienta de control de calidad, sea que el modificante es conocido o no. Se necesita hacer un control de calidad del mismo por sospechas en su falta de efectividad, o si es necesario verificar la afinidad química del material modificador con el asfalto. En cualquiera de los casos es importante conocer la composición química no solo por su accionar en el desempeño del asfalto modificado, si no para 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 de equipamiento y que tan capacitado sea el personal que realiza el análisis. De la experiencia obtenida en el análisis de modificantes para asfalto, la espectrometría FTIR y/o Raman es ventajosa, pues permite 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 (Dresselhaus, 2005).

Análisis Infrarrojo con Espectroscopía Raman

En la Figura 1 se muestran los espectros Raman para los NTCs y la nanosílice. Básicamente, en la figura se observa que el espectro Raman de los NTCs de multicapa presenta un pico a pico característico a 1200 cm^{-1} . Esta característica permite distinguir los NTCs multicapa, con los de pared simple o monocapa. En contraste, ambos presentan la denominada banda G a 1600 cm^{-1} , la cual está asociada al comportamiento como semiconductor del material.

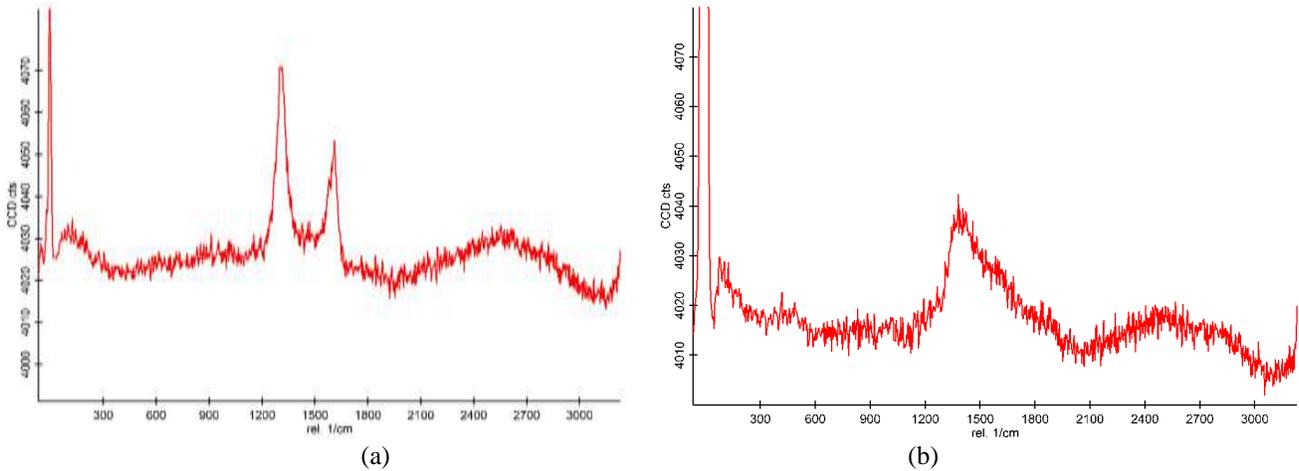


Figura 1. Espectrometría Raman para (a) NTCs y (b) Nanosílice.

2.2 Análisis Termogravimétrico (TGA)

En general, la técnica es utilizada para determinar el comportamiento de un material cuando es sometido a cambios térmicos controlando cambios en su masa, de esta forma se puede obtener información de la descomposición del material y para predecir su estabilidad térmica. En el caso de los modificantes es importante conocer si su temperatura de degradación es mayor que la temperatura de modificación y mezclado en planta. Adicionalmente, para los modificantes provenientes de desechos industriales pone en evidencia posible contaminación por volatilización con otros productos.

En la Figura 2, se observan los resultados de los termogramas de los NTCs y la nanosílice. Básicamente, el TGA de la nanosílice presenta fluctuaciones asociadas a la pérdida de agua y a transiciones morfológicas, presentando así pérdidas mínimas en cuanto al contenido de masa. En el caso de los NTC, presentan a una temperatura cercana a los 550 °C la pérdida inicial de degradación, alcanzado la máxima velocidad de degradación a unos 800 °C . Es importante considerar que las temperaturas de modificación algunas hasta 190 °C no afectarían la composición estructural del material.

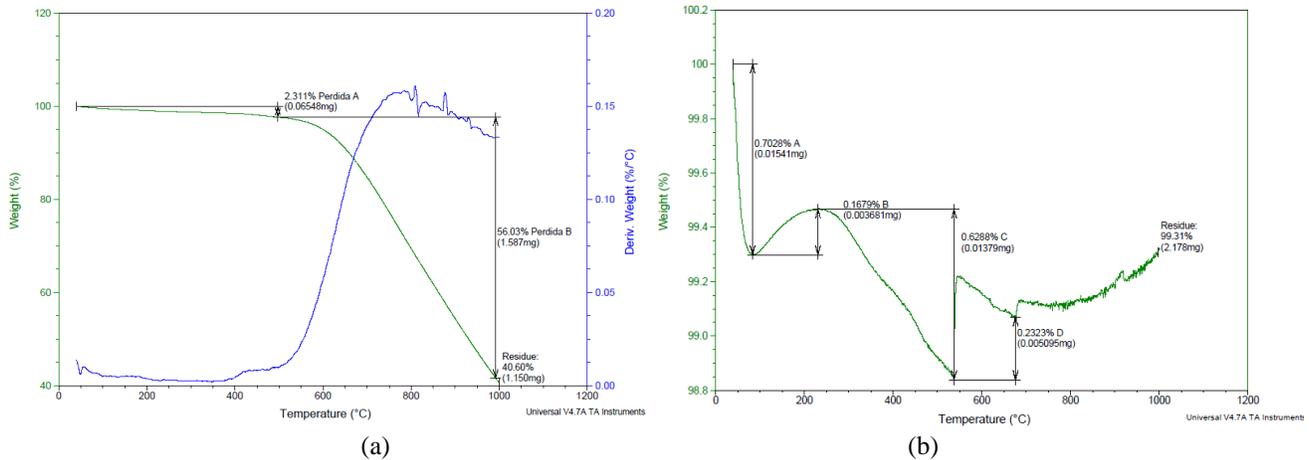


Figura 2. Análisis de TGA para (a) NTCs y (b) Nanosílice.

En la Figura 3, se observan los resultados de los termogramas del asfalto original y modificado al 0.5% de nanosílice. El asfalto original muestra cambios graduales de pérdida de masa durante el incremento en la temperatura. Lo primero que pierde el material son sus volátiles, visualizándose como pérdidas sucesivas a diferentes tasas de velocidad y temperatura producto de la heterogénea composición del material. Después de los 800 °C el asfalto se calcina en atmosfera inerte para obtener un contenido de cenizas o residuo de 0.67%. Por su parte, el asfalto modificado con nanosílice presenta una curva

de descomposición térmica similar pues el mayor componente de la mezcla es asfalto. No obstante, si se observa un incremento en la temperatura de calcinación del material puesto que el silicio es térmicamente muy estable: a los 1000 °C el residuo es del 7.1%. Para el resto de asfaltos modificados la diferencia radica en el contenido de residuos que incrementa hasta el 18.9% para 6% de nanosílice. En el caso de los NTCs el residuo máximo obtenido fue de 10.3%.

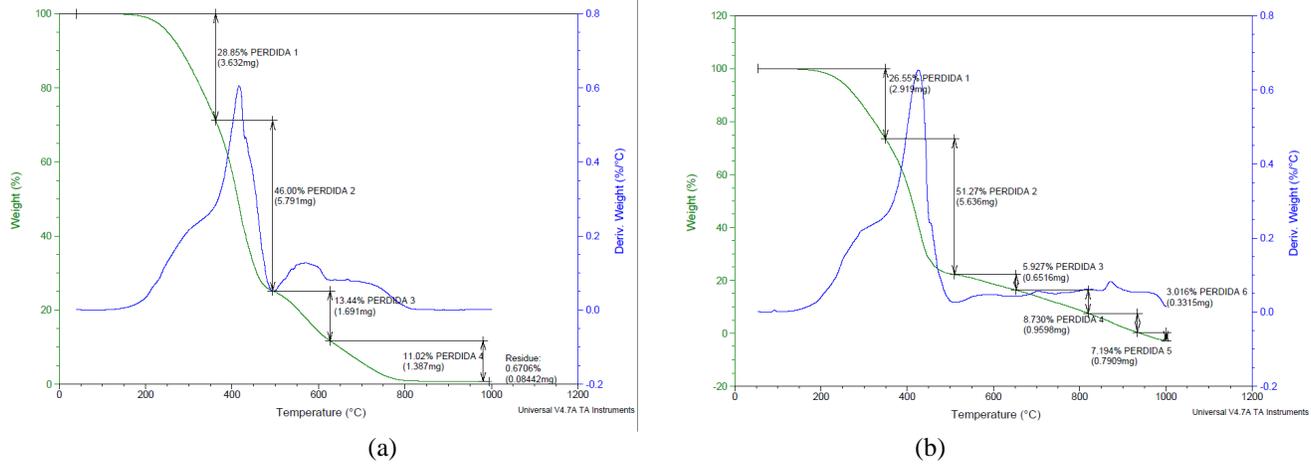


Figura 3. Análisis de TGA para (a) asfalto original y (b) asfalto modificado con 0.5% de Nanosílice.

2.3 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 (Elseifi et al., 2010; Daly et al., 2010). Por tanto, la técnica ayuda a la identificación del material, permite definir con fundamentación adecuada la temperatura de incorporación del modificante en el asfalto y da información sobre la respuesta térmica del material. La Figura 4 muestra la curva calorimétrica del asfalto original. Se observa una transición secundaria entre 3.78 °C y 22.13 °C. Este mismo comportamiento (curva calorimétrica) fue obtenido para los asfaltos modificados. Lo más importante del análisis de la información del DSC en relación al comportamiento del ligante a temperaturas intermedias está dado por la temperatura máxima a la cual se comienza la transición. Dicho fenómeno se debe a un arreglo molecular complejo por la heterogeneidad del material lo cual resulta en una rigidización de la muestra. La tendencia observada de este punto de inicio de la transición fue a incrementar al aumentar el contenido de nanomaterial (Figura 5). El aumento más alto observado es de 6.74 °C para el asfalto modificado con 3.0% de nanotubos de carbono. Este aumento en las temperaturas de transición estaría afectando negativamente el desempeño del material a temperaturas intermedias como es el caso de la resistencia a fatiga del material ya que el material se estaría rigidizando a temperaturas más altas.

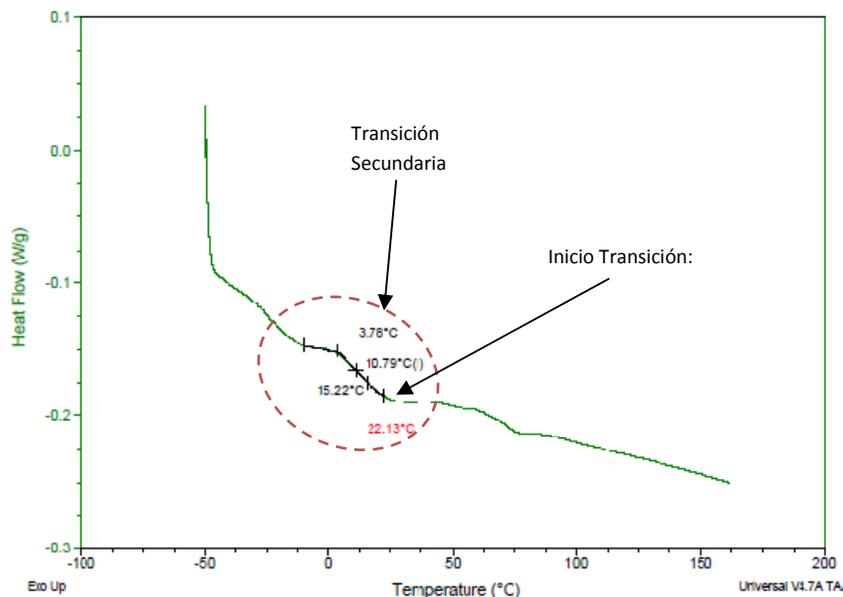


Figura 4. Análisis de DSC para asfalto original.

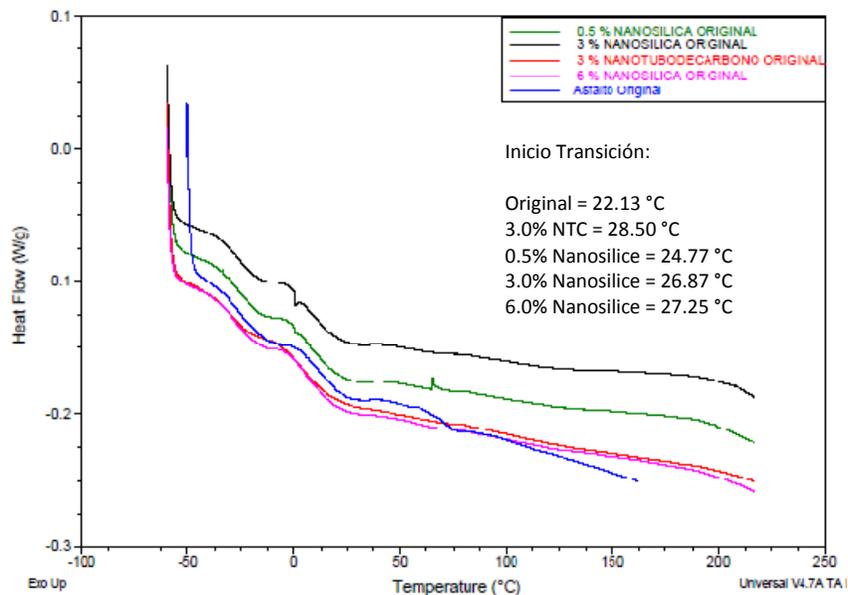


Figura 5. Análisis de DSC para asfalto original y modificados.

2.4 Análisis Infrarrojo con Espectroscopía Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR)

Este análisis permite determinar el espectro infrarrojo de un material, obteniendo información sobre la estructura molecular de la muestra. Típicamente, se compara la información obtenida con una base de datos de espectros de materiales similares para determinar la naturaleza de la muestra analizada, o preferiblemente, se realiza un análisis de bandas cuya interpretación necesita de conocimiento del analista (Kuptsov, 1994). La Figura 6 muestra los materiales utilizados, así como el ligante asfáltico en condición original. Las bandas de la NS a 1050 cm^{-1} intensidad alta, 850 cm^{-1} intensidad baja y 450 cm^{-1} intensidad alta típicas de los movimientos vibracionales del SiO_2 y un espectro típico de NTC donde se observa la absorción intensa que genera una curvatura en todo el espectro infrarrojo, esta puede variar en forma dependiendo del arreglo estructural e los NTC.

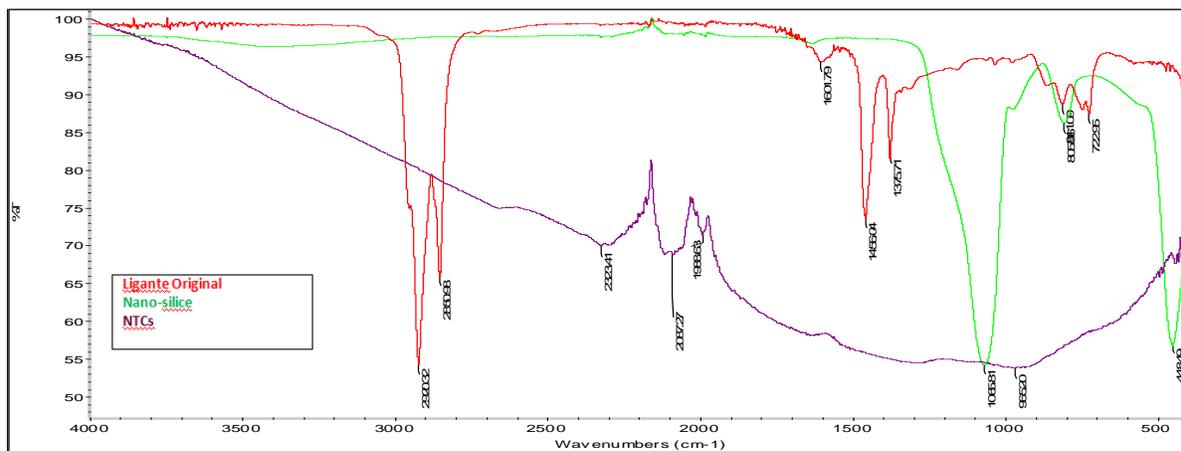


Figura 6. Espectrometría FTIR para materiales utilizados.

La Figura 7 muestra los espectros infrarrojo del asfalto sin modificar en condición original y los asfaltos modificados con distintos materiales en la misma condición. El espectro del ligante asfáltico modificado con un 0.5 % m/m de nano-silíce muestra un incremento en las bandas a 1050 cm^{-1} intensidad alta, 850 cm^{-1} intensidad baja y 450 cm^{-1} intensidad alta típicas de los movimientos vibracionales del SiO_2 . Estas bandas son intensificadas significativamente conforme se presentan los espectros del ligante asfáltico modificado con nanosilíce al 3 % m/m y al 6 % m/m, esto se observa al incrementar la concentración de la nanosilíce en la matriz asfáltica. El ligante asfáltico modificado con 0.5 % m/m NTC y 3 % m/m de NTC muestra evidencia de un espectro típico del material. Esto se genera por la absorción debido a la estructura de los NTC y es un factor que pudiese ser determinante de ligantes asfálticos modificados con este material para realizar

determinaciones cualitativas y cuantitativas del mismo. Lo anterior debido porque un incremento en la concentración produce un incremento en la absorción de las bandas intensificándolas en mayor medida.

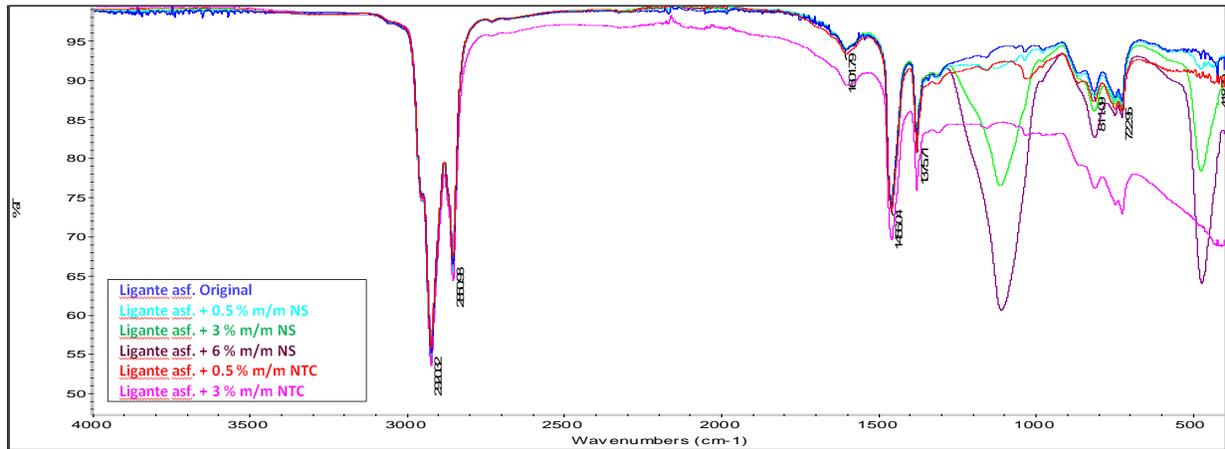


Figura 7. Análisis FTIR para asfalto original y asfalto modificado.

2.5 Grado de Desempeño (PG) del Asfalto

Esta información del material es de gran utilidad para 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 (McGennis et al., 1994; West et al. 2010).

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 envejecimiento que ocurre durante el proceso de mezclado en caliente y la colocación en carretera. El equipo de envejecimiento a presión (PAV) se utiliza en el laboratorio para simular el envejecimiento y oxidación 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 asfalto a la fractura ante temperaturas intermedias (Elseifi et al., 2010). La Tabla 1 muestra los grados de desempeño a las temperaturas alta e intermedia para el asfalto original y asfaltos modificados. En general la tendencia fue a incrementar el grado en ambas temperaturas: lo anterior puede considerarse como un beneficio en términos de resistencia a la deformación permanente, pero este incremento en temperaturas también puede estar asociado a una pérdida en la capacidad del material para resistir a la fatiga.

Tabla 1. Grado de Desempeño (PG) del Asfalto

Material	PG Temperatura Alta	PG Temperatura Intermedia
Original	64	22
%0.5 NTC	70	22
3% NTC	88	25
0.5% Nanosilice	70	25
3% Nanosilice	76	25
6% Nanosilice	82	25

2.6 Creep Repetitivo y MSCR

La importancia de estos ensayos es que permiten realizar mediciones dinámicas del material, tratando de evidenciar el comportamiento del mismo en servicio bajo condiciones probables de desempeño en carretera. El creep acumulado mide la deformación al final de 300 ciclos de carga a 100 Pa (mínimo 100 ciclos), por períodos de 1 s y dejando que se recupere por 9 s (según especificaciones NCHRP 459). A final de varios ciclos de carga, se mide la deformación permanente acumulada y se comparan las muestras. Los resultados del ensayo realizado al grado de desempeño requerido o de diseño de 64 °C se muestran en la Figura 8. Se observa que la adición de nanomateriales, generan un aumento en la resistencia a la deformación permanente del asfalto. Entre los asfaltos modificados con nanomateriales evaluados en el estudio, el asfalto modificado con 3% de nanotubos de carbono presenta el mejor desempeño con una reducción en el porcentaje de deformación permanente obtenida del 95% con respecto al asfalto original.

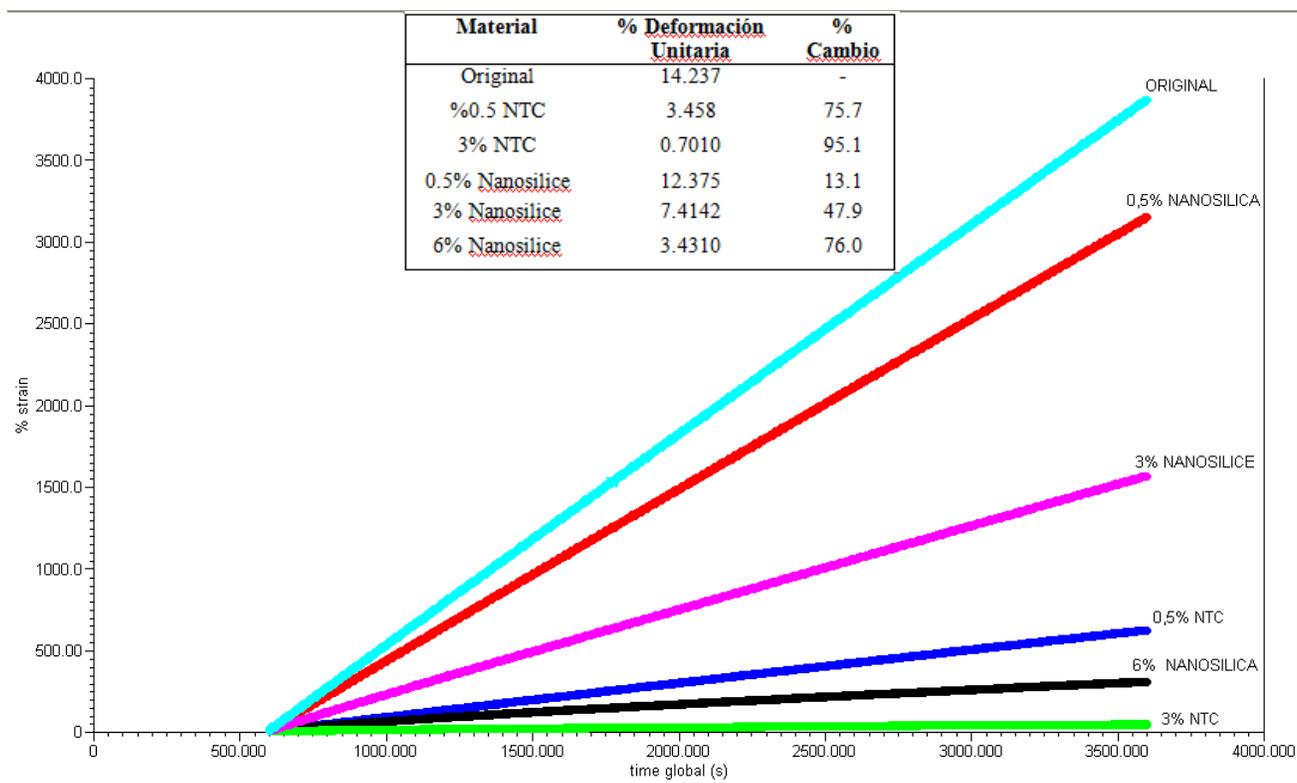


Figura 8. Creep repetitivo asfalto original y asfalto modificado con nanomateriales.

El Multi Stress Creep Recovery (MSCR), definido en ASTM - D7405, parte del mismo principio, pero se ha desarrollado con la intención de complementar el grado de desempeño PG y brindar un criterio adicional de clasificación del asfalto (se relaciona con el nivel de carga al que estará sometido el pavimento) (Mooney, 2008). Los resultados de dicha clasificación del ensayo realizado al grado de desempeño requerido o de diseño de 64 °C se indican en la Tabla 2. En concordancia con el análisis de creep repetitivo, ambos modificantes resultan en una reducción de la deformación con respecto al asfalto original y por ende en un aumento del rango de aplicación del asfalto ante condiciones más severas de demanda de tráfico. Todos los casos con material modificado resultaron al menos en la categoría de Tráfico Alto. Tanto en el ensayo de Creep repetitivo como en el MSCR, el asfalto modificado con 3% de nanotubos presenta el mejor desempeño y el asfalto modificado con 0.5% de nanosíllice presenta la menor variación con respecto al asfalto original.

Tabla 2. MSCR asfalto original y asfalto modificado con nanomateriales

Material	Resultado	$J_{NR@3,2KPa}$	$\frac{(J_{NR@3,2KPa} - J_{NR@0,1KPa})}{J_{NR@0,1KPa}}$
AC-30	---	7,344	0,22
Asfalto Original + NTCs (0.5%)	Tráfico Muy Alto	0,596	0,16
Asfalto Original + NTCs (3.0%)	Tráfico Muy Alto	0,064	0,75
Asfalto Original + Nanosíllice (0.5%)	Tráfico Alto	1,227	0,18
Asfalto Original + Nanosíllice (3.0%)	Tráfico Muy Alto	0,702	0,23
Asfalto Original + Nanosíllice (6.0%)	Tráfico Muy Alto	0,292	0,36
Condiciones de Tráfico		$J_{NR@3,2KPa}$	$\frac{(J_{NR@3,2KPa} - J_{NR@0,1KPa})}{J_{NR@0,1KPa}}$
Tráfico Estándar ($< 1 \times 10^7$ ESALs)		< 4	$< 0,75$
Tráfico Alto ($1 \times 10^7 - 3 \times 10^7$ ESALs)		< 2	$< 0,75$
Tráfico Muy Alto ($> 3 \times 10^7$ ESALs)		< 1	$< 0,75$

2.7 Fatiga

El ensayo por fatiga permite conocer de forma dinámica el comportamiento del material a la ruptura a temperaturas intermedias, pudiendo ser entretendidos los resultados obtenidos por fatiga en un ciclo de carga o por energía disipada. El ensayo se realizó a 22 °C usando una frecuencia angular de 10 rad/s, bajo deformación controlada (10%), según las recomendaciones establecidas en NCHRP 459 (la temperatura seleccionada corresponde a un PG base para todos los asfaltos evaluados, en referencia a la temperatura de diseño o del asfalto original). El ensayo se llevó a cabo hasta obtener un daño cercano al 100% y los resultados del ensayo se indican en la Figura 9. Se observa que para todos los casos existe una zona primaria de daño por fatiga con tasa de pérdida de módulo de rigidez inicial (dentro del rango viscoelástico) y una zona secundaria de daño acelerado. Se comprobó que el punto de inflexión entre estas zonas se presenta cuando la pendiente de la curva "Ángulo de fase versus Tiempo" es igual a cero. Para cada una de las curvas de fatiga se determino el tiempo al cual ocurre el punto de inflexión, el módulo de rigidez asociado a este punto y el tiempo para obtener un daño del 50%. Se observa que el asfalto modificado con 3.0% NTC presenta la mayor rigidez inicial y el menor punto de inflexión afectando negativamente la resistencia a fatiga. Por el contrario la adición de 3% y 6% de nanosilíce mejora significativamente esta resistencia. Finalmente, contenidos bajos de ambos nanomateriales afectan levemente el desempeño a fatiga del material.

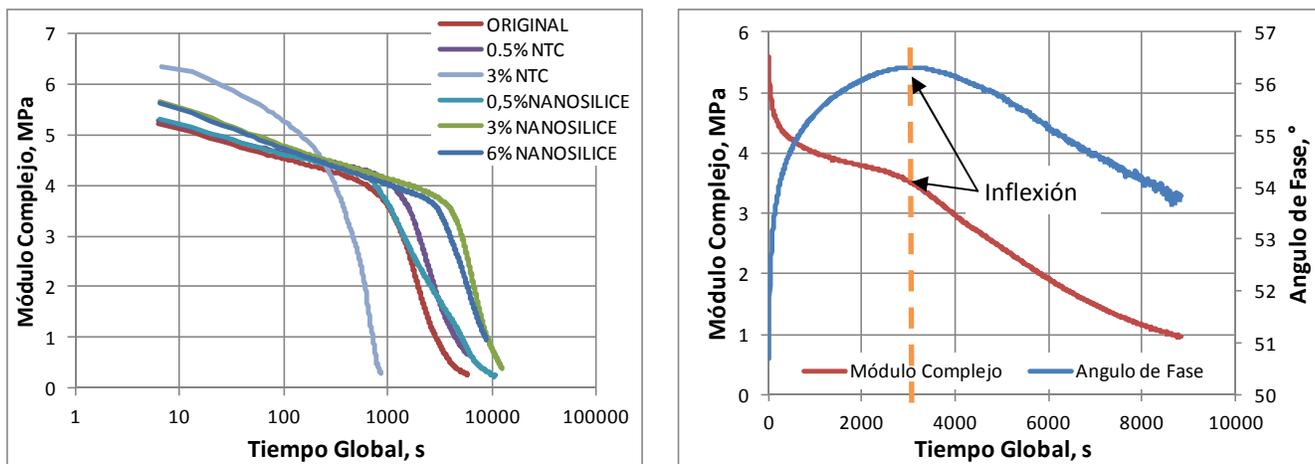


Figura 9. Medición de fatiga de asfalto original y modificado con nano materiales

Tabla 3. Análisis de Fatiga

Material	G* Inicial, MPa	Inflexión, s	G* @ Inflexión, MPa	Tiempo @ 50% G*, s
Original	5.19	1270	3.20	1628
%0.5 NTC	5.26	1315	3.82	2269
3% NTC	6.34	360	3.65	433
0.5% Nanosilíce	5.29	780	3.97	1721
3% Nanosilíce	5.64	3500	3.65	5424
6% Nanosilíce	5.6	2850	3.59	4283

2.8 Microscopía de Fuerza Atómica (AFM)

El análisis se utiliza para obtener información sobre la topografía, la rugosidad, la dispersión y la adherencia de muestras de asfalto modificado. Los resultados del análisis AFM en los asfaltos modificados se presentan en la Figura 10. Se observa que los NTCs y la nanosilíce se dispersan uniformemente sobre la matriz asfáltica. Las imágenes indican uniformidad en la incorporación del modificante y en términos de topografía, la incorporación de los NTCs produce el mayor aumento en la rugosidad superficial del asfalto lo cual podría estar asociado al trabamiento de partículas y rigidez del asfalto modificado. Las imágenes permiten la detección e identificación de las diferentes fases presentes en la muestra. El asfalto original corresponde a un asfalto tipo multi-fase. En la figura se pueden identificar la sal-fase, para-fase, per-fase y catana-fase. La catana-fase corresponde a la estructura tipo "abeja" y la per-fase corresponde al área que envuelva la catana-fase. La para-fase es la matriz o fase continua y la sal-fase son partículas pequeñas segregadas en la para-fase. Un análisis de composición porcentual de estas fases permitiría cuantificar el efecto de la modificación en cada fase. Esto se presentará en un estudio posterior.

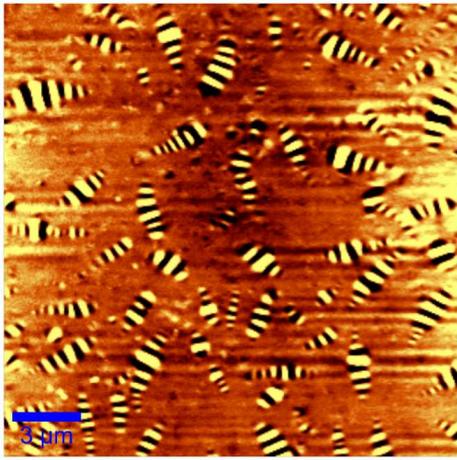


Imagen Topografía - Asfalto Original

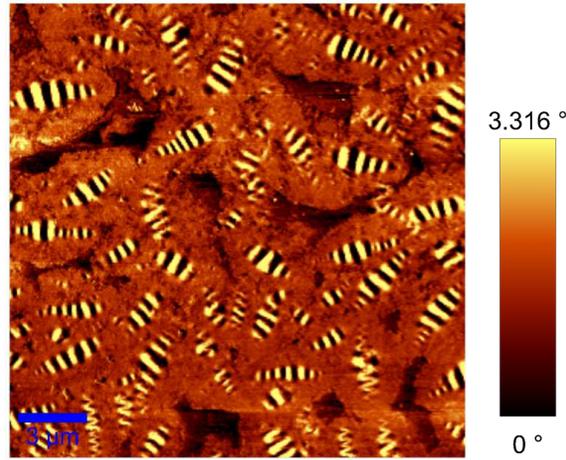


Imagen Fase - Asfalto Original

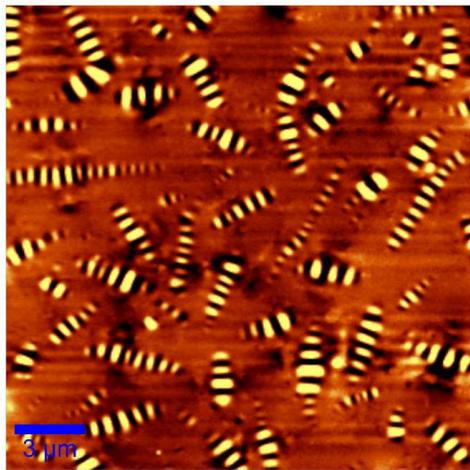


Imagen Topografía - 3% Nanosilice

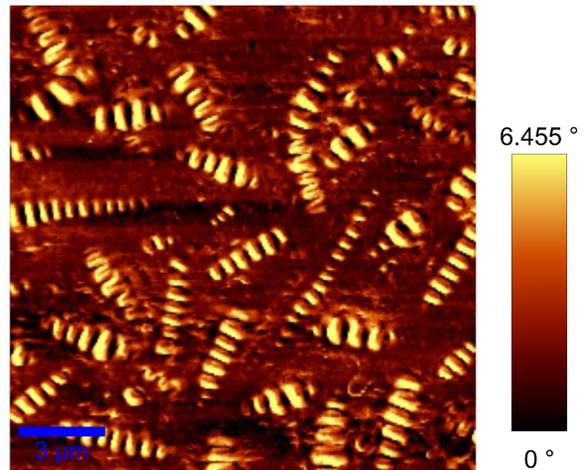


Imagen Fase - 3% Nanosilice

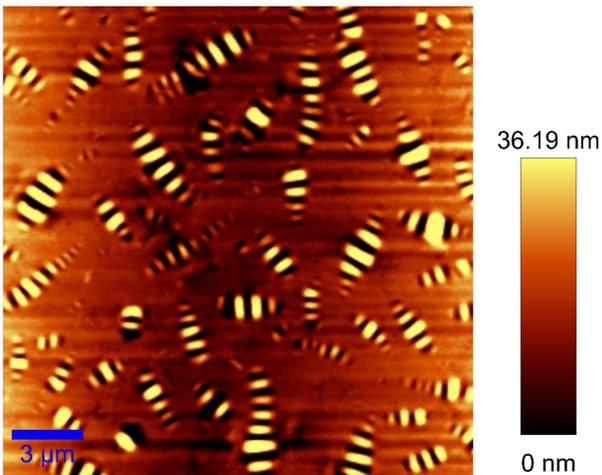


Imagen Topografía - 3% Nanotubos de Carbono

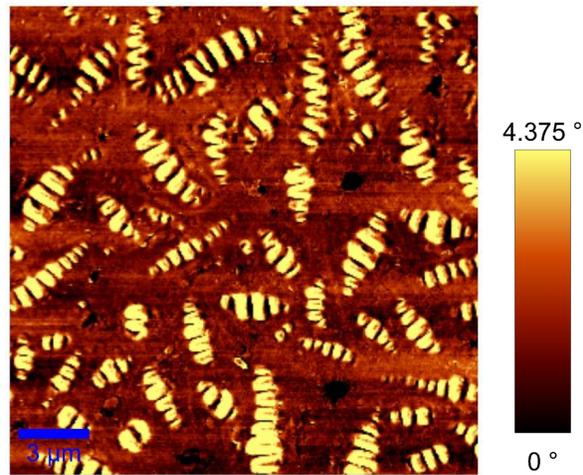


Imagen Fase - 3% Nanotubos de Carbono

Figura 10. Análisis AFM de asfalto original y asfalto modificado.

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 a toda escala de tamaños. De igual manera permiten evidenciar los cambios ocurridos en el asfalto modificado con nanomateriales, cuya interpretación ayuda a clarificar si existe una mejora significativa en las propiedades requeridas del material.

Tanto a nivel químico como mecánico se evidencia claramente un cambio en el comportamiento de los materiales modificados con nanomateriales. Los análisis térmicos (TGA y DSC) ayudan a comparar cuales son los modificantes que se pueden comportar mejor durante su incorporación al asfalto, los cambios en la propiedades térmicas del material y proveen información de cuál será su desempeño en servicio. Los ensayos reológicos permiten evaluar el desempeño de los materiales modificados y la posible selección del asfalto óptimo para determinadas condiciones de campo. Para los aditivos analizados, un aumento en la concentración de nanomaterial en el asfalto produce una mejora en la resistencia a la deformación permanente. Sin embargo, esto puede, en algunos casos, afectar negativamente la resistencia a fatiga del material como en el caso del asfalto modificado con nanotubos de carbono. En cuanto a la selección del asfalto con mejor desempeño, se determinó que la adición de 3.0% de nanosilice mejora tanto la resistencia a la deformación permanente como la resistencia a fatiga.

Todos estos estudios permiten realizar ingeniería de materiales en el asfalto puesto que teóricamente se puede llegar a modificar el mismo hasta alcanzar propiedades deseadas, mediante la funcionalización de nanomateriales que permitan alcanzar dichos objetivos. No obstante, para poder realizar dicha tarea, es fundamental conocer en detalle las características y el comportamiento del asfalto y sus modificantes para poder entonces producir los cambios en la estructura del modificante y poder cambiar las propiedades del asfalto según sean los requisitos de desempeño del proyecto.

4. REFERENCIAS

- 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.
- 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.
- Dresselhaus, M.S.; Dresselhaus, G.; Saito, R.; Jorio, R. Raman spectroscopy of carbon nanotubes. Elsevier Physics Reports, 2005.
- Drexler, E. Nanotechnology: From Feynman to Funding. Bulletin of Science Technology Society, Vol. 24, No. 1, pp. 21-27, Febrero 2004.
- Domingo, C.; Santoro, G. Espectroscopía Raman de nanotubos de carbono. Óptica Pura y Aplicada, Vol. 40, No. 2, pp. 175-186, 2007.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Mooney, K. Current Status for Multiple Stress Creep Recovery. North East Asphalt User / Producer Group Annual Meeting. Atlantic City, NJ, 2008.
- 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.