

CAPITULO 4:

Nanomodificación de asfalto

Ing. Federico I. Ortiz de Zárate

Introducción

El asfalto, como material termoplástico que es, modifica sus propiedades viscoelásticas (viscosidad, ductilidad, elasticidad, etc.) frente a los cambios de temperatura. A temperaturas altas -por encima del punto de ablandamiento- el asfalto se comporta como un líquido viscoso, mientras que a temperaturas bajas tiene las propiedades de un sólido elástico.

Otra clase de materiales termoplásticos muy importante es la de los polímeros termoplásticos. Una gran variedad de polímeros termoplásticos se usan en la vida cotidiana debido a las excelentes propiedades que tienen. Sin embargo, para determinadas aplicaciones se requieren propiedades mejores que las que un polímero por sí solo puede ofrecer, por ejemplo: aplicaciones donde se necesita una mejor capacidad de aislamiento térmico, mejor resistencia mecánica, mayor impermeabilidad frente a gases, entre otras. Para este tipo de usos más exigentes se utiliza un tipo de material compuesto llamado *nanocomposito polimérico*, el cual está conformado por una base polimérica y un nanomaterial como aditivo. Los nanocompositos poliméricos presentan propiedades muy superiores a las que tienen los polímeros termoplásticos por sí mismos, gracias a la combinación de las propiedades de los materiales que los constituyen.

Gracias a los excelentes resultados que se fueron obteniendo con el correr de los años en el desarrollo de materiales compuestos termoplásticos, y en particular de nanocompositos termoplásticos, a inicios del siglo XXI comienzan a aparecer los primeros trabajos científicos que utilizan nanomateriales para modificar asfalto, con el objetivo de mejorar el desempeño y la vida útil de los mismos.

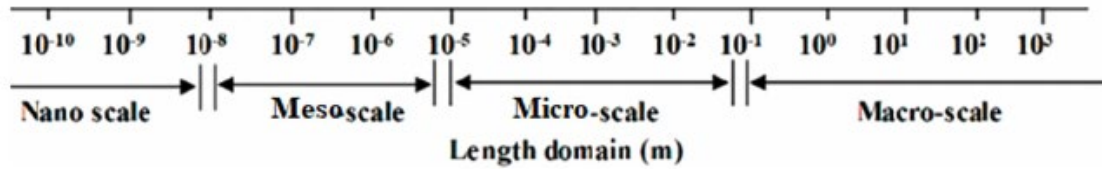
Nanomateriales

Los nanomateriales se definen como aquellos materiales que tienen al menos una de sus dimensiones en la nanoescala (entre 1 y 100 nm¹, ver Figura 4-1). Tienen una característica distintiva que hace que presenten propiedades muy diferentes a las que tienen los mismos materiales en la macroescala: su muy alta superficie específica. Esta característica única es, en parte, la responsable de que pequeñas cantidades de nanomaterial puedan generar efectos muy grandes al incorporarse a un asfalto.

1 1 nm = 10⁻⁹ m



Cuando hablamos de nanomateriales estamos refiriéndonos a una categoría muy amplia de materiales, que abarca una gran variedad de estructuras y propiedades. Una forma de clasificarlos es según la cantidad de dimensiones del nanomaterial que no están en la nanoescala. Así podemos separarlos en tres grandes grupos, como se ve en el cuadro 4-1.



Dimensión cero <i>(tres dimensiones en la nanoescala)</i>	Unidimensional <i>(dos dimensiones en la nanoescala)</i>	Bidimensional <i>(una dimensión en la nanoescala)</i>
<u>Nanopartículas:</u>	<u>Nanotubos:</u>	<u>Nanocapas:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • nano-SiO₂ (nanosilica) • nano-TiO₂ • nano-ZnO • nano-CaCO₃ • nano-Al₂O₃ 	<ul style="list-style-type: none"> • Nanotubos de carbono (de simple-pared y multi-pared) • Halloysita (nanotubo natural) 	<ul style="list-style-type: none"> • Montmorillonita (MMT) • Vermiculita (VMT) • Rectorita (REC) • Grafeno

Figura 4-1. Distintos rangos de dimensiones y sus ejemplos

Fuente: elaboración propia

Compositos

Los materiales compuestos (compositos) se forman por la combinación de dos o más fases distintas entre sí, para conseguir una combinación de propiedades que ninguno de los materiales individuales tiene por sí solo. Los mismos se pueden clasificar de diversas maneras: por los tipos de materiales que los componen, por su morfología, su microestructura, etc.

En particular, cuando hablamos de asfalto nanomodificado estamos hablando de un tipo de material compuesto conocido como *de matriz continua y fase dispersa*, donde la matriz continua es el asfalto (o el asfalto modificado con polímero) y la fase dispersa la constituye el nanomaterial -ya sea en forma de nanopartículas, nanotubos o nanocapas-. Se puede hacer otra subdivisión que separe este tipo de materiales compuestos en tres subgrupos: macrocompositos, microcompositos, y nanocompositos, según el tamaño de las partículas de la fase dispersa se encuentre en la macroescala, microescala o nanoescala.



Obtención de asfalto nanomodificado

El procedimiento más común para obtener asfalto nanomodificado en laboratorio es la *dispersión por vía húmeda* (la misma que se utiliza para modificar asfaltos con polímeros), para la cual se utiliza un dispersor de alta velocidad de corte Figura 4-2. Los pasos a seguir se resumen a continuación:

- Se calienta el asfalto base en estufa hasta una temperatura en la que sea trabajable, procurando dejarlo en la estufa el mínimo tiempo posible (para evitar el envejecimiento excesivo).
- Se vuelca el asfalto caliente en el recipiente donde se realizará la nanomodificación. Se lleva el mismo a la temperatura que se mantendrá durante toda la dispersión.
- Se comienza la dispersión a las revoluciones por minuto (rpm) deseadas.
- Se agrega el nanomodificador en un lapso de tiempo adecuado. Si se desea, se puede agregar también un modificador polimérico en este paso.
- Se sostiene la dispersión durante un tiempo determinado. Al finalizar este tiempo, se detiene la dispersión y se trasvasa el asfalto a los recipientes requeridos para llevar adelante la caracterización del mismo.



Figura 4-2. Dispersor de asfalto tipo rotor-estator
Fuente: elaboración propia

Algunas de las variables del proceso de dispersión que se pueden controlar son: el tiempo de dispersión, la temperatura, las revoluciones por minuto, las características del nanomaterial (tipo de nanomaterial, granulometría, grado de modificación), concentración del nanomaterial, tipo de asfalto base (si está modificado con polímero o no, tipo de polímero, concentración, etc.), entre otras. Cada uno de estos parámetros tiene efecto sobre las propiedades finales del asfalto nanomodificado.

Ejemplos de nanopartículas y su efecto en asfaltos

Uno de los nanomodificadores de asfalto más comunes es la nanosilica. La nanosilica es un nanomaterial perteneciente al grupo de las nanopartículas (dimensión cero). Se trata de un



polvo blanco de SiO₂ amorfo, y al ser un nanomaterial muy económico, es uno de los más estudiados (Figura 4-3).



Figura 4-2. Izq: CaCO₃ (filler), fracción menor a 63 μm . Der: nanosilica. Dispensor de asfalto tipo rotor-estator

Fuente: Crucho et al

La nanosilica modifica el comportamiento reológico del asfalto mejorando su resistencia a ahuellamiento y a la fatiga. En la Figura 4-4 se pueden observar resultados de un trabajo reciente que pone de manifiesto la mejora en la resistencia a la fatiga de asfaltos modificados con 1, 2 y 4% de nanosilica, en términos del módulo complejo (G^*) vs la cantidad de ciclos aplicados.

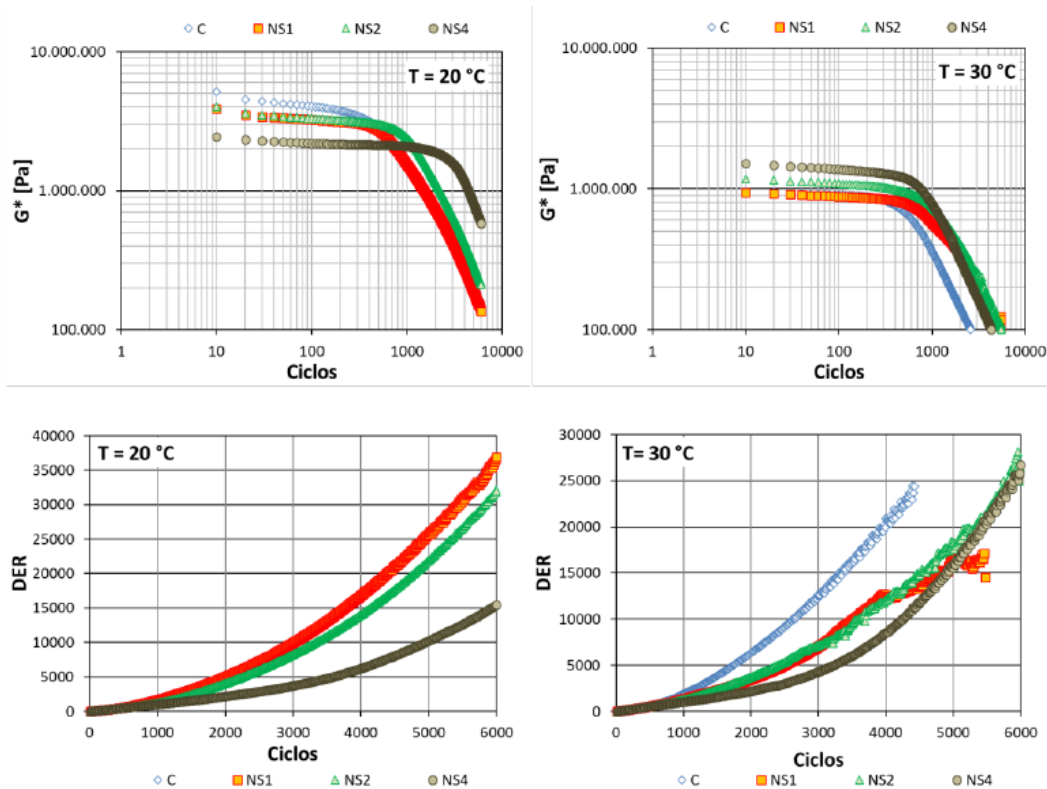


Figure 2. Resultados de ensayos de time sweep. Arriba: G^* vs Ciclos. abajo: Dissipated Energy Ratio (DER) vs ciclos.

Figura 4-4. Extraído de: Morea, F., Piqué, T. M. (2020). Evaluación de un asfalto comercial con la adición de nanosilica y análisis del desempeño en una mezcla asfáltica. 29^o Reunión del Asfalto, Comisión Permanente del Asfalto, noviembre 2020.



En cuanto a la resistencia al envejecimiento del asfalto modificado con nanosilica, se observa que la adición del nanomaterial mejora mucho la protección frente a la radiación UV, mientras que su efecto sobre la resistencia al envejecimiento termo-oxidativo es poco significativo.²

Otros tipos de nanopartículas también comparten la característica de brindar protección al asfalto frente a los rayos UV. Algunos ejemplos son el nano-ZnO y el nano-TiO₂. Estas nanopartículas tienen la propiedad de absorber y/o reflejar la radiación UV (Figura 4-5, der.), y de esa forma protegen al asfalto del daño foto-oxidativo, alargando su vida útil (Figura 4-5, izq.). Estos tipos de nanomodificadores de asfalto pueden ser muy útiles en aquellas regiones que están muy expuestas a la radiación UV a lo largo del año.

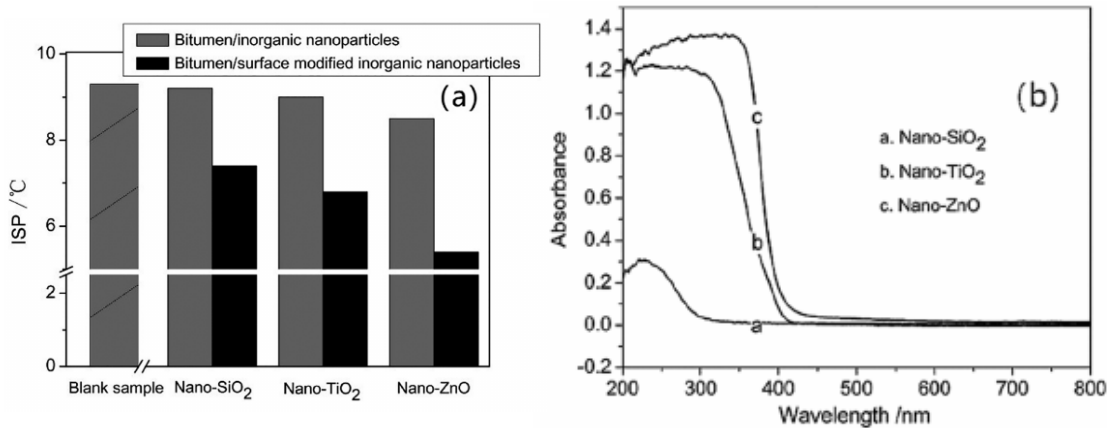


Figura 4-5. Izq: Incremento del punto de ablandamiento tras envejecimiento UV de asfaltos modificados con diferentes nanopartículas. Der: Espectro de absorbancia UV-Vis de tres tipos de nanopartículas utilizadas para modificación de asfalto.

Fuente: Zhang et al

Nanoarcillas

Dentro del grupo de los nanomateriales bidimensionales se encuentra la montmorillonita. La montmorillonita es un tipo de arcilla natural muy abundante en el mundo y también en nuestro país. Se trata de un aluminosilicato que se estructura en forma de capas apiladas una encima de la otra, donde cada capa tiene un espesor de alrededor de 1 nm (por eso se conocen como *nanoarcillas*). La superficie de estas capas presenta una carga eléctrica negativa, que es compensada por cationes que se ubican en el espacio entre capas adyacentes (también llamado *galería* o *espacio intercapa*). De manera natural, los cationes que se ubican en la intercapa son iones Na⁺ y/o Ca²⁺, los cuales le dan a la estructura de la arcilla un carácter hidrofílico (de afinidad por el agua). Un esquema de la estructura de la montmorillonita se puede observar en la Figura 4-6.

2 Los dos principales mecanismos de envejecimiento del asfalto son: (i) el llamado envejecimiento *termo-oxidativo*, causado por el oxígeno del ambiente que ingresa en la película de asfalto y lo oxida; y (ii) el envejecimiento causado por la radiación UV, conocido como *foto-oxidativo*, que es especialmente importante en la capa superior del pavimento. Ambos mecanismos actúan reduciendo la vida útil del pavimento.



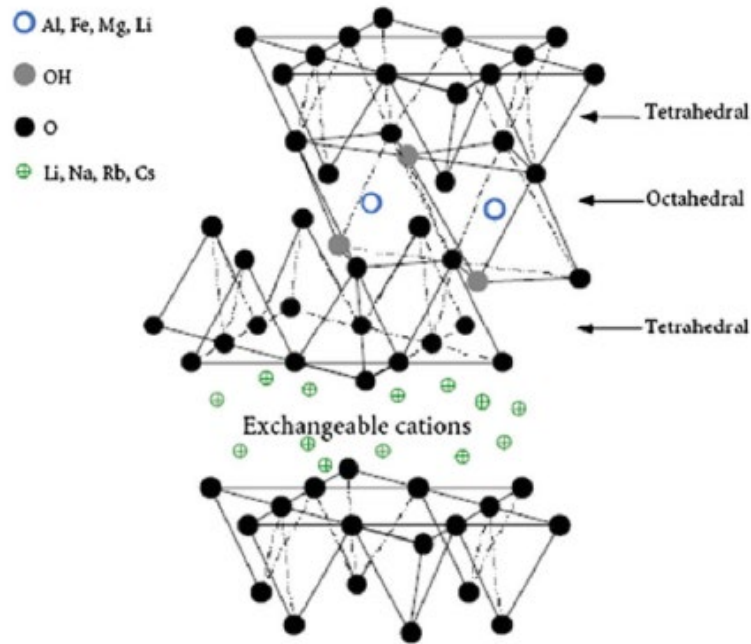


Figura 4-6. Estructura cristalina de la montmorillonita natural

Fuente: Yang et al

El carácter hidrofílico de la nanoarcilla representa un problema a la hora de adicionar la misma a un medio hidrofóbico como es el asfalto, ya que en principio son materiales poco compatibles entre sí. Es por eso que, si buscamos que haya una buena compatibilidad entre la nanoarcilla y el asfalto, es necesario realizarle a la misma algún tratamiento que modifique esa naturaleza hidrofílica.

Afortunadamente, los cationes Na^+ y/o Ca^{2+} de la intercapa de la nanoarcilla pueden ser fácilmente intercambiados por otros a través de un procedimiento sencillo de *intercambio catiónico*. Esta es una característica muy útil del material, que nos da la capacidad de cambiar la naturaleza de la nanoarcilla de una hidrofílica (poco compatible con el asfalto) a una hidrofóbica (compatible con el asfalto), mediante la introducción en la intercapa de cationes hidrofóbicos.



Figura 4-7. Estructura molecular de un surfactante catiónico típico (bromuro de cetiltrimetilamonio).

En general, los cationes utilizados para modificar la nanoarcilla provienen de surfactantes catiónicos del tipo *halogenuros de alquil-amonio* (Figura 4-7). Estos cationes orgánicos son voluminosos e hidrofóbicos, y por lo tanto, cuando son introducidos en el espacio intercapa de la nanoarcilla, tienen la capacidad de aumentar el espesor de dicho espacio, y a su vez darle un carácter hidrofóbico al nanomaterial. Así se pueden obtener *nanoarcillas organomodificadas* que son hidrofóbicas (tienen mejor compatibilidad con el asfalto), y que poseen un espacio intercapa más grande que la nanoarcilla natural (ver Figura 4-8). Estas dos propiedades facilitan



que, cuando estas nanoarcillas se usan para modificar asfalto, las mismas puedan alcanzar un buen grado de dispersión y de interacción con él.

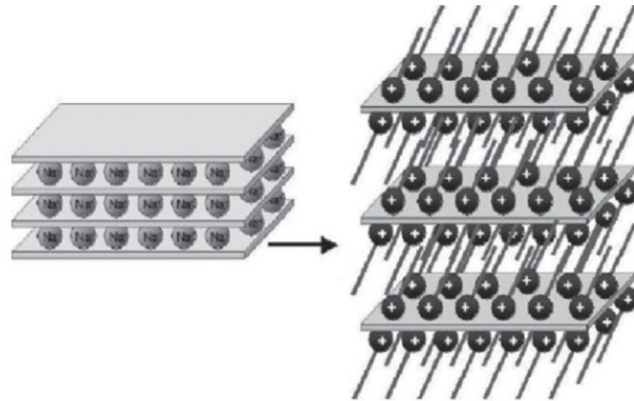


Figura 4-8. Estructura simplificada de una nanoarcilla natural (izq.) y una nanoarcilla organomodificada (der.). El proceso de organomodificación de la nanoarcilla produce un ensanchamiento de los espacios intercapa, y un cambio en el carácter hidrofílico/hidrofóbico del nanomaterial.

Microestructura del asfalto modificado

Al realizar la dispersión de una nanoarcilla en el asfalto podemos obtener tres tipos de microestructura (Figura 4-9). La microestructura que se logre obtener dependerá de las condiciones en las que se hizo la dispersión (parámetros del proceso de dispersión) y las características de la nanoarcilla que se intenta dispersar. Es muy importante conocer la microestructura que tiene el asfalto modificado porque de esta dependen directamente las propiedades que tenga el ligante asfáltico.

En el caso de que la nanoarcilla utilizada sea una nanoarcilla natural (sin modificar, en general poco compatible con el asfalto), o que la dispersión no haya sido efectiva, ya sea porque se realizó durante poco tiempo, o se aplicó poco esfuerzo de corte, etc., la microestructura que se obtenga probablemente sea del tipo (a), microestructura *de fases separadas*. Aquí no hubo buena interacción entre la nanoarcilla y el asfalto, y la estructura de la nanoarcilla permaneció inalterada dentro de la matriz asfáltica. Esto conducirá a un asfalto modificado de propiedades pobres.

El segundo caso de microestructura que se puede obtener es el (b), conocido como microestructura *intercalada*. En este caso, debido a que hubo una buena compatibilidad entre la nanoarcilla y el asfalto, existió una buena interacción entre ambos durante el proceso de dispersión. Esto hizo que las cadenas hidrocarbonadas del asfalto puedan ingresar en el espacio entre capas sucesivas de la nanoarcilla durante la dispersión, aumentando así el espesor del espacio intercapa, fenómeno que se conoce como *delaminación* de la nanoarcilla. En este caso la nanoarcilla sigue manteniendo una estructura de “capas apiladas”, pero la buena interacción con el asfalto causó un ensanchamiento de los espacios intercapa. Este tipo de microestructura conduce generalmente a un asfalto nanomodificado de buenas propiedades.



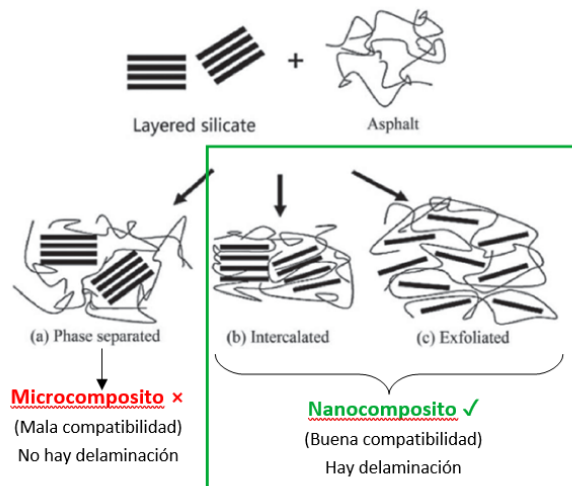


Figura 4-9. Los tres tipos de microestructura que se pueden obtener en un asfalto modificado con nanoarcillas.

Fuente: elaboración propia

Cuando la compatibilidad entre la nanoarcilla y el asfalto es muy buena, y/o cuando el proceso de dispersión es muy efectivo, se puede llegar a obtener una microestructura como la tipo (c), denominada microestructura *exfoliada*. En este caso, la delaminación fue tan importante que las capas de la nanoarcilla se separaron completamente unas de otras durante la dispersión, y terminan adquiriendo orientaciones dentro del asfalto sin un ordenamiento claro. La estructura de “capas apiladas” que tenía la nanoarcilla antes de la dispersión se pierde. Así se obtiene un asfalto nanomodificado de buenas propiedades.

Como se mencionó, el tipo de microestructura que se obtenga depende de las características de la nanoarcilla que se utilice, y de los valores elegidos para los parámetros de la dispersión. En la tabla 4-1 se presentan los valores más comunes de los parámetros de dispersión. Cabe destacar que la nanoarcilla tiene un tamaño de partícula que está en el orden de los *micrones* al momento de agregarla al asfalto. Por lo tanto, si no hay una buena interacción con el mismo, la nanoarcilla no se delaminará y las partículas que se adicionaron con un tamaño del orden del micrón, permanecerán dentro del asfalto también con un tamaño del orden del micrón, dando como resultado un microcomposito (microestructura de fases separadas). En cambio, si hubo una buena compatibilidad con el asfalto y por lo tanto una importante delaminación, las capas individuales de la nanoarcilla se podrán separar entre sí dentro del medio, y como cada capa tiene un espesor nanométrico, se obtiene así un nanocomposito (correspondiente a las microestructuras intercalada y exfoliada). El desafío a la hora de nanomodificar un asfalto es obtener un nanocomposito. Sólo así se pueden explotar todos los beneficios que aporta el nanomaterial al ligante.

Table 4. Summary of production parameters of nano-layered silicate modified asphalt.

Particles size (μm)	d (nm)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Reaction time (min)	Speed (rpm)	Content (%)
Micron grade	> 2.0	140–170	> 60	3000–5000	2–7

Figura 4-1. Valores más comunes de los parámetros de dispersión

Fuente: Yang et al



Efectos de la modificación de asfalto con nanoarcillas

Efecto sobre las propiedades mecánicas

Diversos trabajos muestran que la modificación con nanoarcillas tiene la capacidad de mejorar la resistencia al ahuellamiento del asfalto a temperaturas altas. Esto se ve reflejado en el cambio de propiedades clásicas como el punto de ablandamiento y propiedades reológicas como el factor de ahuellamiento de Superpave ($G^*/\text{sen } \delta$).

Por ejemplo, en la Figura 4-10 se observa que el efecto de la adición de nanoarcillas sobre el punto de ablandamiento es mayor cuanto más nanoarcilla se incorpora. El incremento del punto de ablandamiento sugiere que los asfaltos modificados con nanoarcillas tendrán una resistencia al ahuellamiento mayor.

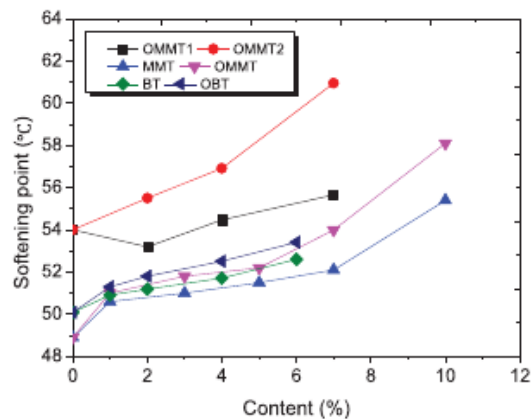


Figura 4.10. Efecto del incremento del contenido de diferentes tipos de nanoarcillas sobre el punto de ablandamiento de asfaltos.

Fuente: Yang et al., 2020.

En la Figura 4-11, la resistencia al ahuellamiento se evalúa mediante la temperatura alta de falla de Superpave, la cual se calcula usando el parámetro reológico $G^*/\text{sen } \delta$. Se puede observar que la temperatura alta de falla crece con el aumento de la concentración de nanoarcilla, lo cual es consistente con lo que se mencionó en el párrafo anterior. Una temperatura alta de falla mayor sugiere que el correspondiente pavimento asfáltico será capaz de resistir temperaturas más altas sin sufrir problemas de ahuellamiento. Por otra parte, los resultados de la Figura 4-11 también muestran que las nanoarcillas organomodificadas brindan un beneficio más importante que las naturales (no modificadas), a igualdad de concentraciones. Esto es consistente con la hipótesis descrita anteriormente de que las nanoarcillas organomodificadas alcanzan mayores grados de delaminación dentro del asfalto debido a que son más compatibles con el mismo, y así pueden generar efectos más importantes en el ligante modificado.



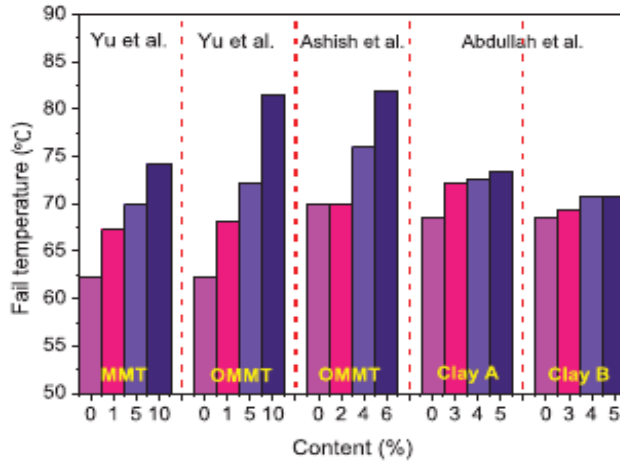


Figura 4-11. Efecto del incremento del contenido de diferentes nanoarcillas (modificadas y no modificadas) sobre la temperatura alta de falla de Superpave de asfaltos
Fuente: Yang et al

Cuando las nanoarcillas se utilizan para modificar un asfalto que ya fue previamente modificado con polímero, el efecto es similar. La resistencia al ahuellamiento a temperaturas altas crece, como se puede observar en los resultados de la Figura 4-12.

En cuanto al efecto de la modificación con nanoarcillas de un asfalto a temperaturas medias y bajas, en general se ha observado que es poco significativo. Es decir, las nanoarcillas no inciden mucho sobre la resistencia a la fatiga y la resistencia a la fisuración térmica. Sin embargo, algunos investigadores afirman que cuando las nanoarcillas se incorporan a un asfalto modificado con polímero, se produce una sinergia entre el modificador polimérico y el nanomaterial que puede conducir a una mejora del comportamiento a la fatiga y a la fisuración térmica a bajas temperaturas (como ejemplo, ver Figura 4-13).

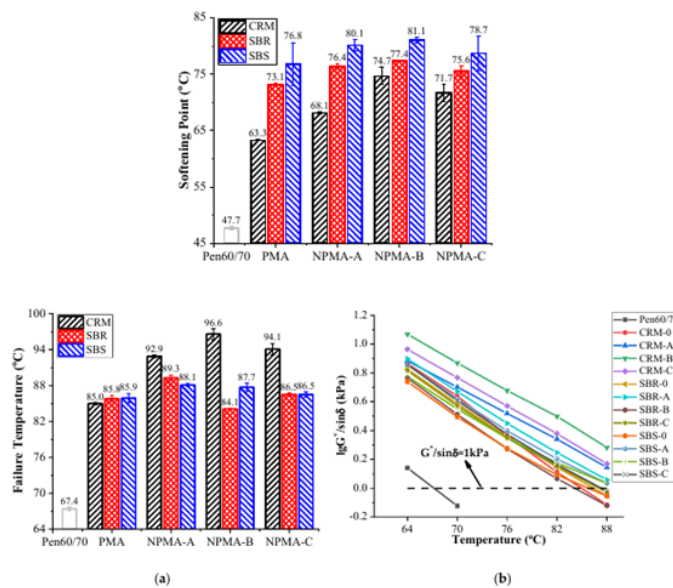


Figura 4-12. Efecto de la adición de tres tipos de nanoarcillas a asfaltos modificados con tres polímeros diferentes. En todos los casos se utilizó un 3% de nanoarcillas. Arriba: efecto sobre el punto de ablandamiento. Abajo: efecto sobre la temperatura alta de falla de Superpave.

Fuente: Ren et al



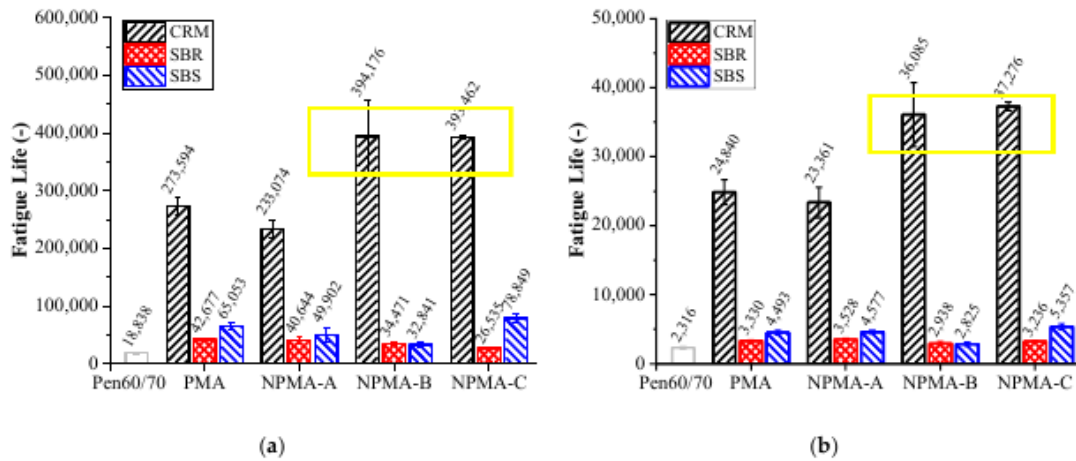


Figure 6. LAS test results: (a) Applied strain of 2.5%; (b) Applied strain of 5.0%.

Figura 4-13. Efecto de la adición de tres tipos de nanoarcillas sobre la vida a fatiga de asfaltos modificados con tres polímeros diferentes

Fuente: Ren et al

Efecto sobre la estabilidad al almacenamiento

La *estabilidad al almacenamiento* de los asfaltos modificados con polímero por vía húmeda es una propiedad muy importante desde el punto de vista tecnológico. La conocida incompatibilidad que existe entre el modificador polimérico y el asfalto base es la razón por la cual el ligante modificado no puede permanecer almacenado en caliente y sin agitación durante mucho tiempo sin que se separen las fases polimérica y asfáltica. Esta separación de fases, si ocurre, representa un problema grave en las plantas asfálticas y en el transporte del ligante modificado, que en última instancia dificulta la aplicación de asfaltos modificados con polímero en obras viales.

La estabilidad al almacenamiento es una propiedad que sirve para evaluar la tendencia del ligante a que se produzca la separación de fases en condiciones de alta temperatura y estáticas. Esta propiedad se mide mediante la prueba conocida coloquialmente como el “ensayo del tubo de aluminio” (ASTM D7173). En este ensayo se simulan en estufa de laboratorio las condiciones de almacenamiento mencionadas durante un determinado tiempo, al término del cual se mide la diferencia en propiedades viscoelásticas de los extremos del tubo. Si hubo separación de fases, la fase polimérica se acumulará mayoritariamente en uno de los extremos, generando así una diferencia de propiedades entre ambos extremos del tubo que se puede medir con ensayos normalizados como punto de ablandamiento y/o propiedades reológicas como el módulo complejo (G^*). Cuanto mayor sea la diferencia de propiedades entre los extremos del tubo, más grave habrá sido la separación de fases, y menor la estabilidad al almacenamiento del ligante modificado.

Se ha encontrado que las nanoarcillas tienen la capacidad de reducir drásticamente el problema de separación de fases en asfaltos modificados con polímero. Esto se debe a su estructura laminar y su tamaño nanométrico, ya que cuando alcanzan un buen grado de dispersión y delaminación dentro del ligante, generan un impedimento físico para la migración del polímero dentro del medio asfáltico, reduciendo así la velocidad de separación de fases. Algunos investigadores afirman que las nanoarcillas mejoran la compatibilidad entre el asfalto y el



polímero, estabilizando el sistema y reduciendo así la tendencia a la separación de fases. Algunos resultados que ejemplifican esta mejora en la estabilidad al almacenamiento causada por las nanoarcillas pueden observarse en las Figuras 4-14 y 4-15.

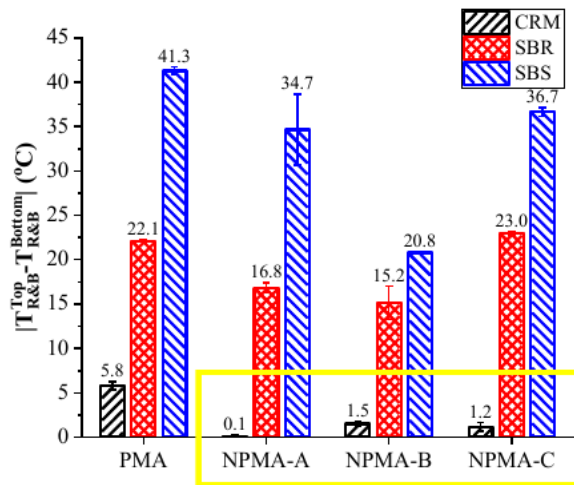


Figura 4-14. Cambio en la estabilidad al almacenamiento de asfaltos modificados con polímero con la adición de nanoarcillas
Fuente: Ren et al

Esta característica de las nanoarcillas las posiciona como un nanomaterial interesante para ser usado como aditivo estabilizante en asfaltos modificados con polímero.

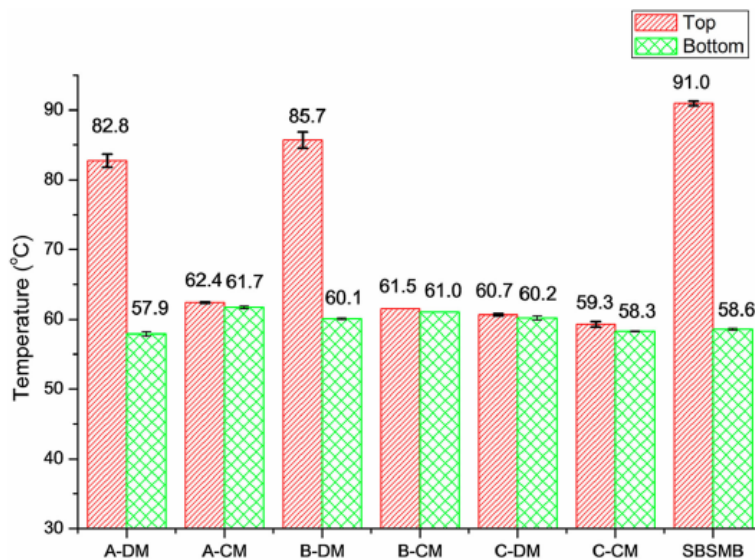


Figure 8. Softening point differences of top and bottom sections.

Figura 4-15. Cambio en la estabilidad al almacenamiento de asfaltos modificados con 4% de polímero SBS con adición de 2% de diferentes nanoarcillas
Fuente: Leng et al

Efecto sobre la resistencia al envejecimiento

Otra propiedad importante de los asfaltos modificados con polímero es la resistencia al envejecimiento, una característica clave que define la vida útil de un pavimento. Diversos



investigadores afirman que las nanoarcillas protegen al asfalto del envejecimiento termo-oxidativo gracias a las denominadas *propiedades de barrera* de las mismas (Figura 4-16).

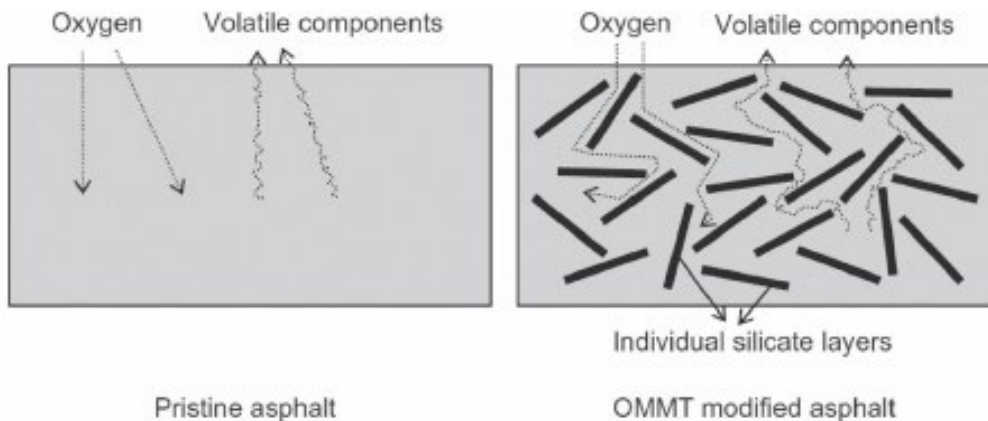


Figura 4-16. Propiedades de barrera en un asfalto modificado con nanoarcillas
Fuente: Yang et al

Las propiedades de barrera consisten en el efecto de obstáculo frente a los gases que producen las nanoarcillas cuando están correctamente dispersadas y delaminadas dentro de una matriz termoplástica como el asfalto. Cuando esto sucede, se produce un “laberinto” para las moléculas de oxígeno del ambiente que ingresan al ligante y lo oxidan: los caminos de propagación de moléculas gaseosas se alargan, se reduce su velocidad de ingreso, y se retrasa la oxidación. Lo mismo ocurre para los componentes del asfalto que se volatilizan a las temperaturas de mezclado y compactación de la mezcla: los caminos por donde los componentes volátiles escapan del ligante se prolongan, y la velocidad de envejecimiento por pérdida de volátiles se reduce. Algunos resultados que ejemplifican este efecto pueden verse en las Figuras 4-17 y 4-18.

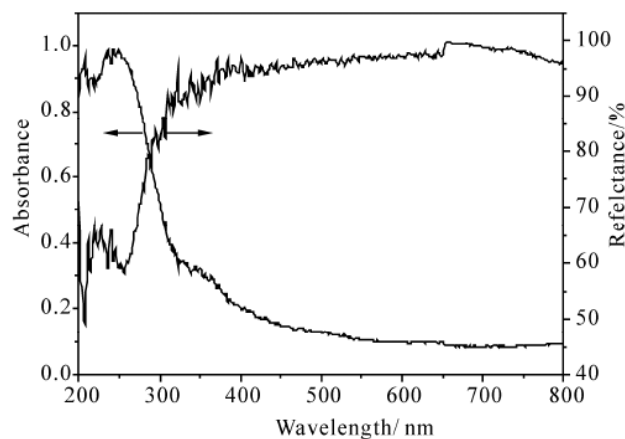


Figura 4-17. Pérdida de masa debido a envejecimiento RTFOT y PAV de asfaltos modificados con diferentes tipos de nanoarcillas
Fuente: Zhang et al

Por otra parte, las nanoarcillas también tienen la capacidad de brindar al asfalto un cierto efecto protector frente a los rayos UV, mejorando así su desempeño en zonas muy expuestas a



la radiación solar. Esto se debe, como se mencionó antes, a la capacidad que tienen de absorber y reflejar la radiación UV (ver Figura 4-19). También se presentan resultados de un trabajo que pone de manifiesto el efecto protector de las nanoarcillas frente a la radiación UV.

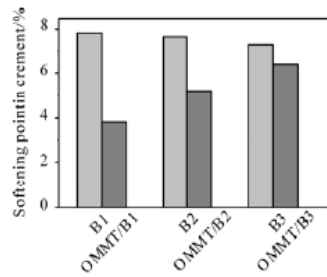


Fig.11 Softening point increment of the binders after long-term aging

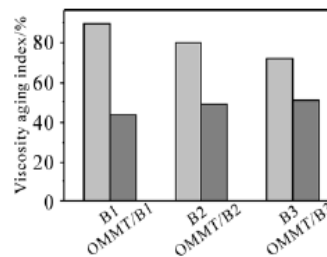


Fig.12 Viscosity aging index of the binders after long-term aging

Figura 4-18. Cambio en el punto de ablandamiento (arriba) y el índice de envejecimiento de viscosidad (abajo) de diferentes tipos de asfalto base modificados con la misma nanoarcilla.

Fuente: Li et al

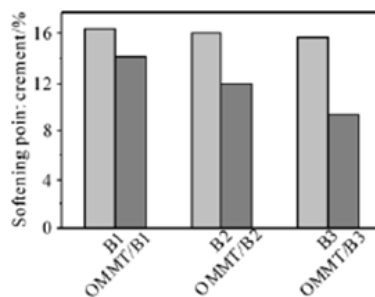


Fig.14 Softening point increment of the binders after UV aging

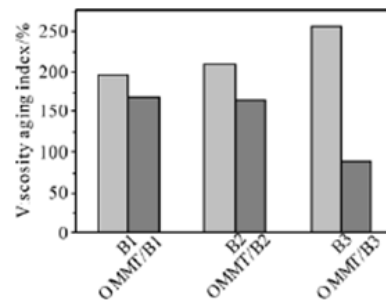


Fig.15 Viscosity aging index of the binders after UV aging

Figura 4-19. Cambio en el punto de ablandamiento (arriba) y el índice de envejecimiento de viscosidad (abajo) tras envejecimiento UV de diferentes asfaltos base modificados con nanoarcillas

Fuente: Li et al



Conclusiones

Como se ha visto en esta unidad, la modificación con nanomateriales puede aportar propiedades interesantes a los asfaltos, que la modificación clásica (con polímeros) no puede brindar por sí sola. En este sentido los nanomateriales, y en particular las nanoarcillas, complementan a los modificadores poliméricos, actuando sobre el envejecimiento termo-oxidativo y envejecimiento UV y alargando la vida útil de los pavimentos. Además, tienen la capacidad de mejorar la estabilidad al almacenamiento de los ligantes modificados con polímeros, lo cual permitiría extender y facilitar su uso.

En vista de estos resultados, la tesis “Estudio de la estabilidad al almacenamiento de ligantes asfálticos modificados con polímeros reciclados y aditivos estabilizantes” (en ejecución) busca desarrollar nanoarcillas organomodificadas con surfactantes nacionales que sean capaces de estabilizar asfaltos modificados con caucho reciclado de neumático fuera de uso (NFU), y optimizar las condiciones de dispersión para maximizar los beneficios de su uso. Se pretende también evaluar la mejora en la resistencia al envejecimiento de los ligantes obtenidos. El objetivo general de la misma es consolidar a la dispersión de polímero reciclado en asfalto por vía húmeda como una alternativa tecnológica competitiva en la construcción vial mediante el empleo de nanoarcillas naturales y organomodificadas como aditivos estabilizantes.



Bibliografía

Crucho, J., Picado-Santos, L., Neves, J., & Capitão, S. (2019). A Review of Nanomaterials' Effect on Mechanical Performance and Aging of Asphalt Mixtures. *Applied Sciences*. Doi: 10.3390/app9183657

Jing, R. (2019). Ageing of bituminous materials: Experimental and numerical characterization (tesis doctoral). Delft University of Technology, Delft, Países Bajos. Doi: 10.4233/uuid:19e7a9ff-5336-419f-b49a-82bc7c644b02

Leng, Z., Tan, Z., Yu, H., & Guo, J. (2019). Improvement of storage stability of SBS-modified asphalt with nanoclay using a new mixing method. *Road Materials and Pavement Design*. Doi: 10.1080/14680629.2018.1465842

Li, B., Zhang, H. & Yu, J. (2010). Effect of organo-montmorillonite on the morphology and aging properties of various bitumens. *J. Wuhan Univ. Technol.-Mat. Sci*. Doi: 10.1007/s11595-010-0063-6

Morea, F., Piqué, T. M. (2020). Evaluación de un asfalto comercial con la adición de nanosilica y análisis del desempeño en una mezcla asfáltica. 29° Reunión del Asfalto, Comisión Permanente del Asfalto, noviembre 2020.

Ren, Z., Zhu, Y., Wu, Q., Zhu, M., Guo, F., Yu, H., & Yu, J. (2020). Enhanced Storage Stability of Different Polymer Modified Asphalt Binders through Nano-Montmorillonite Modification. *Nanomaterials*. Doi: 10.3390/nano10040641

Yang, X., Shen, A., Guo, Y., Wu, H., & Wang, H. (2020). A review of nano layered silicate technologies applied to asphalt materials. *Road Materials and Pavement Design*. Doi: 10.1080/14680629.2020.1713199

Zhang, H., Duan, H., Zhu, C., Chen, Z., & Luo, H. (2021). Mini-review on the application of nanomaterials in improving anti-aging properties of asphalt. *Energy Fuels*. Doi: 10.1021/acs.energyfuels.1c01035

