

OBTENCIÓN ASFALTOS MODIFICADOS A PARTIR DE ASFALTITA DEL YACIMIENTO MANUELA CON LA ADICIÓN DEL CAUCHO RESIDUAL.

MODIFIED ASPHALTS FROM THE ASPHALTITE OF MANUELA DEPOSIT WITH THE ADDITION OF RESIDUAL RUBBER.

Miguel A. Anaya-Alfonso ⁽¹⁾ Eduardo A. Mérida-La O ⁽¹⁾, Anolan Díaz-Fernández ⁽¹⁾, Mileydis Padilla-Carta ⁽¹⁾, Nircida Alvarez-Maxan ⁽¹⁾

Los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación de modificadores poliméricos como el caucho, son sustancias muy estables en el tiempo y a cambios de temperatura. La modificación tiene como objetivo realizar una activación superficial iónica, para producir adherencia entre el asfalto y el material de relleno inorgánico. Una ventaja adicional que ofrece la asfaltita es su contenido de materia mineral no asociada que aporta un relleno con contenidos mayores del 50 % que reducen las deformaciones plásticas y el ahuellamiento. Para la obtención del asfalto modificado se utilizó el proceso de vía húmeda. El equipamiento utilizado fue sencillo, tradicional. Se verificó la relación directa entre las propiedades físico-químicas del ligante y su composición química. El resultado de la formulación óptima estudiada arrojó un 15 % de contenido de caucho, la dosificación de la asfaltita de un 50%, y como solvente se seleccionó el tolueno dada la mayor solubilidad de la asfaltita frente a otros solventes. No se verificó un cambio significativo en la estructura química del ligante, pues el asfalto modificado obtenido es una mezcla física asfalto-polímero estable y homogénea. El trabajo aborda la obtención de un asfalto modificado para usos diversos a partir de la asfaltita del yacimiento Manuela, con la adición de asfalto fluido y caucho residual del recape de neumáticos, como una solución a la problemática medioambiental que provoca este residuo.

Palabras clave: Asfaltita, Asfaltos Modificados

The modified asphalts are the product of the breakup or incorporation of polymeric modifiers like rubber, they are very stable substances to time and changes of temperature. The modification has as objective to carry out an ionic superficial activation, to produce adherence between the asphalt and the material of inorganic filler. An additional advantage that the use of the asfaltita offers, is its content of more than 50% of mineral matter not associated that contributes as a filler, that reduce the plastic deformations and printing making. The method used to obtain the modified asphalt was the wet process, simple and traditional equipment have been used. The direct relationship between the physical-chemical properties of the ligant and its chemical composition were verified. As a result of the study, the best formulation gave 15% of rubber content, the dosage of the asphaltite was 50%, using toluene as solvent, selected after preliminary studies on the solubility properties of the ore compared to other solvents. A significant change was not proved in the chemical structure of the ligant, because the obtained modified asphalt is a stable and homogeneous mixture asphalt-polymer. The work approaches the obtention of a modified asphalt for diverse uses of the asphaltite ore from Manuela deposit, with the addition of fluid asphalt and residual rubber of the recape of tires, like a solution to the environmental problem caused by this residual.

Key words: Asphaltite, Asphalt Modified

Recibido: 10 de febrero del 2011

Aprobado en su forma original: 9 de octubre del 2013

(1) Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Varona 12028 Km¹/₂ Boyeros, La Habana, Cuba, CP-10800 Correo electrónico: eduardo@cipimm.minbas.cu

INTRODUCCIÓN

Los asfaltos modificados con polímeros nacen de la intención de disminuir la energía requerida para la producción, almacenamiento y aplicación de cementos asfálticos en carreteras. (Arq. Sánchez González, 2011)

El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. También es utilizado en impermeabilizantes. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de bitumen. Su nombre recuerda el Lago Asfaltites (el Mar Muerto), en la cuenca del río Jordán. Además del sitio mencionado, se encuentra en estado natural formando una mezcla compleja de hidrocarburos sólidos en lagunas de algunas cuencas petroleras, como sucede en el lago de asfalto de Guanoco, el lago de asfalto más extenso del mundo (Estado Sucre, Venezuela), con 4 km² de extensión y 75 millones de barriles de asfalto natural.

A pesar de la fácil explotación y excelente calidad del asfalto natural, no suele explotarse desde hace mucho tiempo ya que, al obtenerse en las refinerías petroleras como subproducto sólido en el craqueo o fragmentación que se produce en las torres de destilación, resulta mucho más económica su obtención de este modo.

Como el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos. Por lo que los investigadores han tratado de modificarlos y así mejorar sus propiedades para diversificar sus usos y aplicaciones.

La modificación de los asfaltos es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías y varios tipos de impermeabilizantes. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es

decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación al asfalto de un polímero de caucho o de hule (ambos como materiales de desecho, cuya destrucción afecta el medio ambiente). Los polímeros son sustancias muy estables en el tiempo y a cambios de temperatura, se añaden al asfalto para modificar sus propiedades físicas y reológicas, disminuir su susceptibilidad a la temperatura, humedad y a la oxidación (Gallego, 1999).

La modificación y la actividad superficial iónica, que produce adherencia entre el asfalto y el material de relleno (material pétreo) debe mantenerse aún en presencia del agua. Se persigue aumentar la resistencia de la mezcla asfáltica a los esfuerzos de tensiones repetidos y fatigas, reduciendo así el agrietamiento y otras características importantes dependiendo del tipo de aplicación (Páez, A., et al, 2004).

Los objetivos que se persiguen en esta investigación no son más que la modificación de los asfaltos con adición de polímeros; contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad, para finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas (Ediciones Urmo, 1973).

El modificador utilizado en la presente investigación fue el caucho residual de la operación de destape de la capa de rodamiento de los neumáticos para su recapado. Este aditivo mejoró la flexibilidad y la resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la formación de grietas por fatiga o cambios de temperatura (Arq. Sánchez González, 2011)

Propiedades de los ligantes y mezclas asfálticas

Aunque en una mezcla asfáltica, el asfalto sea minoritario en proporción, sus propiedades pueden influir de manera significativa en su comportamiento. El tipo de mezcla será el que, en gran medida, determine la contribución hecha por el ligante sobre todo el conjunto. Generalmente, las propiedades de las mezclas con granulometría continua dependen del enclavamiento o trabazón de los áridos, mientras que las preparadas con altos contenidos de mortero asfáltico dependen más de la rigidez de la proporción de ligante, polvo mineral y arena.

A altas temperaturas de servicio, puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla (ahuellamiento). El riesgo de aparición de estas deformaciones es aún mayor en pavimentos sometidos a la circulación de vehículos pesados. De manera generalizada y sin tener en cuenta otros factores que pueden influir, se puede disminuir la probabilidad de aparición de estas deformaciones aumentando la rigidez del

ligante mediante el empleo de un asfalto más duro.

Por otro lado a temperaturas de servicios bajas, el ligante se vuelve relativamente rígido y va perdiendo poder de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptible de fisuraciones. El grado de susceptibilidad a la fisuración está relacionado con la dureza del asfalto y su capacidad para absorber las oscilaciones inducidas por el tráfico. Disminuyendo la dureza del asfalto, se minimizará el riesgo de fallo por fragilidad (Tonda, 2010).

Debido a lo dicho precedentemente a la hora de buscar comportamientos globales satisfactorios de la mezclas bituminosas, la elección del asfalto adecuado para cada tipo de mezclas se vuelve un compromiso entre ambos extremos; ahuellamiento a altas temperaturas y fisuramiento por fragilidad térmica a bajas temperaturas. El comportamiento a altas temperaturas mejora, mientras que el comportamiento a bajas temperaturas es negativo, como se puede observar en la Figura 1 que se muestra a continuación.

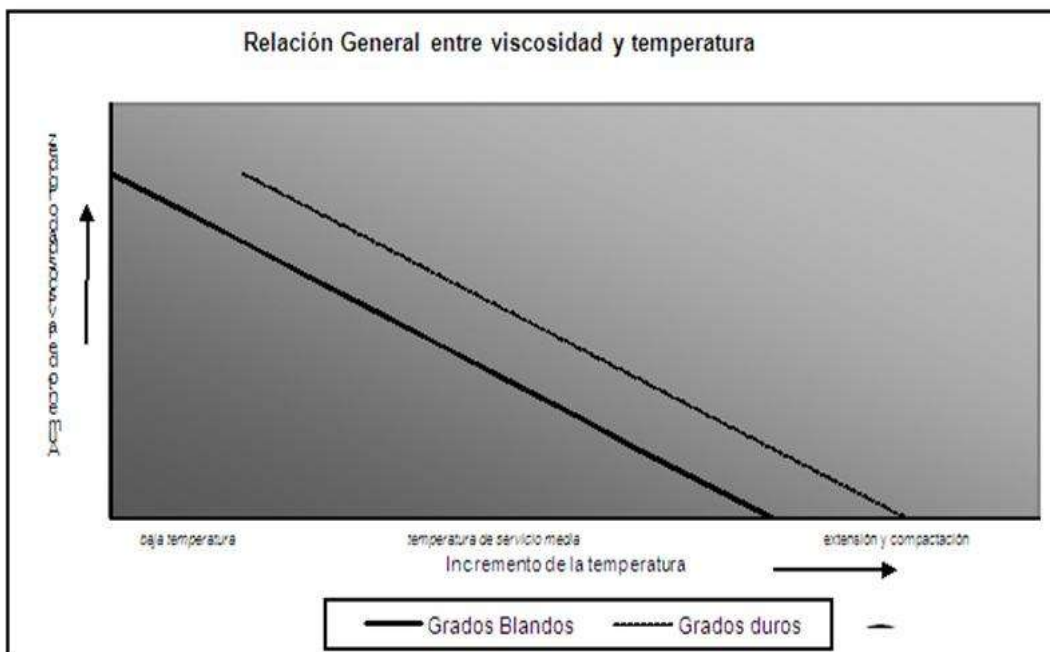


Figura 1. Propiedades y especificaciones de los asfaltos modificados con polímeros.

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y la otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella.

Esta micromorfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros. El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad-temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas) permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas (Tonda, M. 2010).

Otras propiedades que el asfalto modificado mejora respecto del asfalto convencional son: mayor intervalo de plasticidad (diferencia entre el punto de ablandamiento y el Fraass); mayor cohesión, mejora de la respuesta elástica, mayor resistencia a la acción del agua y al envejecimiento. Mientras que las propiedades que estos imparten dependen de los siguientes factores tales como el tipo y composición del polímero incorporado, la característica y estructura coloidal del asfalto base y la proporción relativa de asfalto y polímero.

Para que los asfaltos con polímeros consigan las prestaciones óptimas, hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatible con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje. Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de esta el polímero solo actúa como un filler y por debajo de esta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin

mejorar la elasticidad y la resistencia. (Tonda, 2010).

Sin embargo, dada la incompatibilidad inicial del polvo de neumáticos con el asfalto y su dificultad para mezclarse con él formando sistemas estables, ha sido necesario desarrollar dos métodos específicos de fabricación: la vía seca y la vía húmeda. En la vía seca, el polvo de neumáticos se incorpora como un *filler* a la mezcla, como si se tratara de una fracción más de árido. Una vez fabricada la mezcla, y antes de su aplicación, se mantiene a temperatura elevada durante un cierto período de tiempo, conocido como digestión. En la vía húmeda, el polvo de neumáticos se dispersa en el betún. Esta última metodología admite dos variantes: la suspensión del polvo de neumáticos en el betún inmediatamente antes de la fabricación de la mezcla (dispersión macroscópica) o la incorporación del polvo de neumáticos al betún en central, de tal forma que se consiga una mezcla estable (dispersión microscópica) (PhD Liscano A. R. et., al 2010).

Debido a los problemas de contaminación se han desarrollado nuevos productos en otros países que permiten reutilizar el caucho y obtener: pisos para lagunas de desechos industriales, carreteras, membranas, y asfaltos modificados como impermeabilizantes, reparación de carreteras, etc., ratificándonos lo acertado del trabajo en el proyecto de emplear este residual para la obtención de un producto industrial que convierte un residual en materia prima. El modificador que se utilizó en la investigación fue el caucho residual de la operación de destape de la capa de rodamiento de los neumáticos para su recapado en la planta recapadora del Cotorro.

La situación actual de los residuales de la goma en nuestro país es que debido a que los inventarios de este residual continúan incrementándose, se hace necesario un método alternativo que permita su reutilización industrial. La dirección de la Empresa de recape plantea que este producto residual es un grave problema para ellos, por sus características específicas, el volumen que representa y las dificultades para su

destrucción. Los consumos del caucho residual identificados han sido por los centros de deportes que buscan recortes y polvo para los sacos de boxeo y colchones de prácticas, etc. Estos consumos no llegan a volúmenes que disminuyan notablemente el inventario de este residual, que constantemente se incrementa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales:

Las asfaltitas son sustancias bituminosas naturales, sólidas, de color negro brillante, de aspecto resinoso y fractura concoidal en las formas frescas, dotadas de un punto de fusión elevado, superior a 110° C. Químicamente están constituidas por hidrocarburos muy pobres en oxígeno y parafinas cristalizables, son compuestos de alto peso molecular.

Según Abraham, (Abraham, H. et al., 1945), su origen es debido a la metamorfosis de un petróleo asfáltico que, debido a cambios de temperatura y presión creciente, seguiría los pasos siguientes:

- ✓ Petróleo asfáltico
- ✓ Asfalto blando
- ✓ Asfalto duro
- ✓ Asfaltitas
- ✓ Pirobitúmenes asfálticos

Caucho residual del recape de las gomas.

El polvo de neumáticos tiene una constitución que contiene caucho vulcanizado de estireno o natural (NR/SR), que constituyen más o menos el 50% del producto, en su formulación está presente el negro de humo en un 35% y resto son cenizas acelerantes. Las cenizas son originadas por la adición de productos denominados acelerantes. Estas sustancias aditivas se incorporan al caucho natural, para mejorar sus propiedades de estiramiento, incrementan esta propiedad pero el caucho no lo endurecen materialmente, como el carbonato de calcio y la baritina o el sulfato de bario. Otros aditivos reforzantes que se añaden para dar dureza al producto final, es el negro de humo, óxido de cinc, carbonato de magnesio y ciertas arcillas. Los agentes

aceleradores de la vulcanización que se empleaban en un principio eran solamente óxidos metálicos como el blanco de plomo y la cal. A partir de los descubrimientos de Oenslager se empezaron a utilizar una gran variedad de aminas orgánicas).

Al pulverizar su capa de rodadura las partículas poseen una superficie específica mayor siendo más reactiva y absorbente de los maltenos del asfalto. Esto es importante porque esta característica del polvo hace que el proceso de absorción sea más rápido y entonces tener que aplicar menos temperatura (tiempo de reacción asfalto-caucho o digestión) y obtener mejores propiedades viscoelásticas en la modificación. El caucho es una sustancia que puede ser natural o sintética, ambas se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas.

El caucho del recape de las gomas es un caucho vulcanizado, proceso que se realiza por la reacción química producida cuando el azufre actúa sobre los dobles enlaces de carbono presentes en el elastómero. Generalmente, para producir el elastómero, se mezcla el caucho con todas las materias primas y se obtiene un producto crudo, sin haber realizado ninguna reacción química. La vulcanización se produce por aplicación de presión y altas temperaturas que produce la reacción química del azufre con los dobles enlaces del elastómero, obteniendo así el caucho vulcanizado (Seymour, B. B. et al., 1995).

Disolventes

- ✓ Tolueno
- ✓ Benceno
- ✓ Éter de petróleo 88 0Be.
- ✓ Nafta ligera (96 0Be – 160 0Be).
- ✓ Gasolina.
- ✓ Aguarrasina o aguarás.
- ✓ Tetracloruro de carbono.
- ✓ Cloro benceno.
- ✓ Tricloroetileno.
- ✓ n-hexano.

Métodos:

Las muestras de ensayo se prepararon en viales de aluminio de 4 cm de diámetro y 6 cm de profundidad.

Preparación de mezclas de asfalto fluidizado con asfaltita.

Para preparar el asfalto modificado se partió de un asfalto de curado rápido ACR (mezcla de asfalto + gasolina o nafta) y un RCM asfalto de curado medio, etc. El asfalto modificado es una mezcla de asfalto + asfaltita + solvente. Para formular el nuevo asfalto ACR se tomó 40% de agua rasina + 60 % de asfalto (40/60). Se tomaron 40 partes de agua rasina y 60 de asfalto (estas formulaciones ya están definidas para los asfaltos producidos en las refinerías, las formulaciones utilizadas en este estudio están basada en el mismo principio pero con asfalto Jaruco y asfaltita Manuela).

Determinación del tiempo y temperatura de digestión.

Se aplicó el ensayo de Inmersión-Compresión según la normas NLT-161 "Resistencia a la compresión simple de mezclas bituminosas" y NLT-162 "Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas compactadas". En la expresión (1) la resistencia a compresión simple de probetas en seco es (R1) en probetas sumergidas (R2). La resistencia conservada es R y se calcula según la expresión:

$$R = R2/R1*100 \quad (1)$$

Definición del tiempo y temperatura de digestión.

La definición del tiempo y la temperatura de digestión, se realizó preparando probetas a diferentes temperaturas de digestión, 150°C, 160°C, 170°C y 180 0C, y el tiempo de digestión de 1 y 2 horas con distintos porcentajes de caucho para un porcentaje de ligante constante en nuestro caso ACR50A que corresponde al óptimo de la mezcla patrón. La resistencia de estas probetas se compararon contra el patrón sin caucho. ((Reyes F.A. et al., 2005 y Lezcano, A., et al 2010),

Elaboración del asfalto modificado.

El proceso de elaboración del asfalto modificado se realiza con los siguientes pasos:

- ✓ Se transfiere asfalto al tanque de modificado.
- ✓ Una vez terminado el proceso de transferencia de asfalto, se inicia la agitación.
- ✓ Se somete el asfalto a calentamiento a una temperatura controlada y se le adiciona como disolvente gasolina o nafta.
- ✓ Se homogeniza a una temperatura controlada. Cuando se observa un asfalto fluido se agrega la asfaltita y se deja homogenizando por 1 o 2 horas.
- ✓ Se dosifica el polímero dependiendo del volumen de tanque.
- ✓ El asfalto debe mantenerse en un rango de temperatura de 180° a 190°C. al mismo tiempo es agitado por aproximadamente 5 horas en condiciones de agitación constante y en rango de temperaturas antes mencionado.
- ✓ Después de que el período de dispersión ha transcurrido, se debe observar que el polímero esté incorporado completamente al asfalto.
- ✓ Para bajar la concentración a 3,4%, se agregan 0.9% más de asfalto en cuanto al volumen del tanque de modificado. Para diluir la mezcla al porcentaje que deseamos.
- ✓ El asfalto se debe controlar a una temperatura de 175 ±3°C por una hora, antes de pasar al proceso de emulsificación (Maxil Coyopotl, R. y Salinas Hernández, M. A., 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN**Caracterización de la Asfaltita del yacimiento Manuela.**

La caracterización se realizó aplicando métodos físicos, químicos e instrumentales. Los resultados obtenidos para con la caracterización de dicho mineral se exponen en las tablas de la 1a a la 3.

En la tabla siguiente se observa que la fracción mayoritaria es de 2,00 mm del yacimiento Manuela, mientras que el tamaño del grano oscila entre 2,00mm y por debajo de 1,00mm.

Tabla 1. Análisis granulométrico Asfaltita yacimiento Manuela (molino de martillo).

Fracción Granulometría (mm)	Peso (g)	% Peso	% Peso acumulado
> 2,0	325,20	32,59	32,59
< 2,0 > 1,0	248,10	24,86	57,45
< 1,0 > 0,5	144,60	14,49	71,94
< 0,5	280,00	28,06	100,00
TOTAL	997,90	100,00	

Tabla 2. Composición de la Asfaltita Manuela libre de agua y ceniza.

Componente	% en peso
Asfáltenos	61,7
Aceites aromáticos monocíclicos	3,4
Aceites aromáticos dicíclicos	5,1
Aceites aromáticos policíclicos	6,2
Resina bencénica	6,9
Resina alcohol bencénicas	5,6
Carboides, carbenos y otros	11,1
Suma total	100

Tabla 3. Poder calórico de la Asfaltita Manuela.

Materia prima	Poder calórico (kJ/kg)
Materia prima cruda (en su estado original)	18326
Materia prima secada (libre de humedad natural)	19142
Materia prima libre de ceniza (bitumen purificado)	36628

La tabla 1. presenta la caracterización granulométrica de la asfaltita objeto de estudio.

En la Tabla 2 se identificó que el mayor constituyente de la Asfaltita son los asfáltenos (Los asfáltenos son hidrocarburos de elevado peso molecular que consisten en parafinas ramificadas que contienen azufre, nitrógeno vanadio, etc.) y en consecuencias mayores dificultades para su combustión. Estos resultados indican que el contenido de asfáltenos en un combustible influye de manera determinante en el tiempo de combustión del mismo, corroborando que los que tienen mayor contenido de asfáltenos tardan más en quemarse. Se puede aseverar

que un 80% era netamente carbono en sus diferentes estados.

La variación que experimenta el poder calórico de la asfaltita en su estado natural se presenta en la Tabla 3. Al secar la asfaltita a una temperatura de 110 °C, su valor calórico se incrementa en un 4,5 %. Al tratar la asfaltita con tolueno y separar la ceniza del bitumen el valor calórico se incrementa en un 100 %.

Pruebas de solubilidad de la asfaltita en diferentes solventes orgánicos.

En la Tabla 4. se presentan los resultados obtenidos de la disolución de las asfaltita en diferentes solventes.

Tabla 4 Solubilidad de la asfaltita en diferentes solventes orgánicos.

Solventes	Asfaltita (%) extracción
Benceno	60,5
Éter de petróleo	45,2
Nafta ligera	0,0
Gasolina	44,9
Cloro benceno	61,4
Bisulfuro de carbono	60,0
Tolueno	62,1

ASTM 76 Determinación de solubilidad en compuestos orgánicos.

Tabla 5. Características del asfalto ACR modificado con asfaltita.

Producto ensayado	Viscosidad SSF	Ensayos al asfalto residual		
		Penetración (cm)	Punto ablandamiento	Ductilidad (cm)
ACR original	110	195	-	76 - 80
ACR+50% Asfaltita	210	45	56	115

Resultados de la modificación del asfalto con caucho.

Los resultados obtenidos en la Tabla 5, mostraron que la modificación del asfalto + asfaltita con caucho es la de menor punto de reblandecimiento y penetración ACR+50% de asfaltita (que denominaremos como ACR50%A), dado a que: su viscosidad se incrementa, disminuye su punto de ablandamiento y aumenta su ductilidad,

resultados que se corresponden con los asfaltos empleados para ser modificados con caucho en la literatura consultada al ser comparados con el asfalto sin modificación. Mientras que mediante la determinación del punto de ablandamiento y la variación de la solubilidad de las muestras se establece la existencia de modificaciones en el asfalto modificado por variación de su susceptibilidad térmica y sus propiedades físicas-químicas.

Tabla 6. Análisis granulométrico de la muestra de caucho tomada en la Recapadora del Cotorro.

Fracción Granulometría (mm)	Peso (g)	% Peso	% Peso acumulado
> 10	14,4	1,44	1,44
< 10 > 6,33	21	2,10	3,55
< 9,52 > 6,33	22,3	2,23	5,78
< 6,33 > 4,0	170,3	17,06	22,84
< 4,0 > 2,0	25,1	2,51	25,35
< 2	745,2	74,65	100,00
TOTAL	998,30	100,00	0,0

Obtención de asfalto modificado a partir de ACR50A.

En la recapadora, la capa de rodamiento de la goma se pasa por un rodillo mecánico para

eliminar la capa de rodamiento del neumático obteniéndose la granulometría que va desde 10 mm hasta por debajo de 2 mm, como se muestra en la Tabla 6. Aunque se pudo

observar que el mayor por ciento en peso se encontraba en la fracción -2,00mm siendo beneficioso para el procesamiento posterior de dicha materia prima, pues a menor tamaño de este producto mayor superficie activa para el ataque de los solventes y facilitar la dispersión del caucho en el asfalto a una temperatura determinada.

La Tabla 6. muestra el resultado del análisis granulométrico de la muestra de caucho tomada en la recapadora del Cotorro.

Sin embargo se llevó el tamaño de partícula a 0,710 mm (malla 25 de la ASTM), obteniendo la granulometría requerida para las pruebas. A partir de esta fracción granulométrica se realizaron los diferentes ensayos. En las figuras 3 y 4 puede observarse la disminución de caucho en forma de fibras ideal para su digestión, mezclado y total homogenización con la asfaltita y el asfalto fluido. (Fotos tomadas en un microscopio Marca Edison Inc. 1656 con cámara HP Photosmart E 317 de 5,0 Megapixeles acoplada, 2011).



Figura 3. Muestra de caucho molida en Molino de cuchillas (Foto del autor).



Figura 4. Muestra de caucho remolida en el molino de disco (Foto del autor).

Tabla 7. Ensayos de estabilidad de las mezclas del ARC50A con diferentes % de caucho.

Muestra	Composición de las muestra	Punto reblandecimiento del tercio superior	Punto reblandecimiento del tercio inferior	Diferencie entre los puntos
M1	ARC50A + 15% caucho	48,2	49,7	1,5
M2	ARC50A + 12% caucho	54,2	56,3	2,1
M3	ARC50A + 15% caucho	53,5	56,3	2,8
M4	ARC50A + 16% caucho	66,2	80,0	13,8
M5	ARC50A + 18% caucho	66,4	81,6	15,2
M6	ARC50A + 20% caucho	68,0	90,8	22,8

Se estudiaron variantes de modificación de ACR50A para estabilidad de la muestra con adición de diferentes % de caucho. Se propuso

desde 15 % hasta un 20%. Los resultados se resumen en la Tabla 7. Se determinó el Punto de reblandecimiento aplicando ASTM 36.

Tabla 8. Resultados del ensayo de digestión vs tiempo.

Muestra	Temperatura digestión, (°C)	tiempo digestión, (h)	(%) caucho	Densidad (kg/m3)	R1	R2	R
M1	160	1	15	2124	4,56	1,54	33,77
M2	160	2	12	2213	4,89	1,24	25,36
M3	170	1	14	2157	3,89	1,48	38,05
M4	170	2	16	2232	4,98	2,92	58,63
M5	180	1	18	2189	5,28	3,65	69,13
M6	180	2	20	2245	5,45	4,48	82,20

(Normas Españolas NLT 346/90), (Pérez F.; Miró, R. et al., 1999).

Los resultados obtenidos del estudio de la adición de cantidades diferentes de caucho (15 % hasta un 20%. 5 de caucho para la modificación de ACR50A se resumen en la Tabla 8. la adición de caucho propuesta será desde Punto de reblandecimiento según: ASTM 36

Los resultados obtenidos aplicando la tecnología vía húmeda utilizando el caucho como aditivo poseen una buena estabilidad en las muestras (M1, M2 y M3), se demuestra debido a que la diferencia de temperatura entre el punto de ablandamiento superior e inferior es pequeña, con valores prácticamente similares. En el caso de las muestras M4, M5, M6, el comportamiento es diferente, existe una gran diferencia entre estos puntos, entre (13 y 22,8) °C lo que indica, que las mezclas no están estabilizadas; el incremento de la diferencia entre los puntos de ablandamiento superior e inferior es un índice de la disminución de compatibilidad de los mismos. .

Variación de las características del asfalto modificado, Resistencia conservada. Selección del tiempo de digestión y la temperatura de operación en función de la variación del % de caucho.

Como se puede observar en la Tabla 8, las muestras M5 y M6 (aunque no están estabilizadas véase Tabla 8) tienen los más altos valores de resistencia conservada para un tiempo de digestión de 1 h y 2 horas a una temperatura de 180°C con una composición de 18 y 20% de caucho . Las muestras M3 y M4 con tiempo de digestión de 1 h y 2 h y 170°C, tienen valores de resistencia conservada que podemos calificar como medios (38,05 y 58,63 para un % de aditivo de 14 y 16%). En las muestras M1 y M2, aunque los valores de resistencia son bajos, no son despreciables. Estos resultados nos dan una idea de que se pueden variar las características del asfalto modificado con variaciones en el tiempo y la temperatura de digestión para obtener asfaltos con diferentes resistencias que permite su utilización en diversas aplicaciones.

La estabilidad de la mezcla asfalto ACR50A + caucho es un parámetro fundamental para el uso de la mezcla asfáltica debido a que su adición conlleva a que la muestra se mantenga homogénea con el tiempo y las propiedades del aditivo se transfieren a toda la mezcla

Tabla 9. Caracterización física del asfalto convencional y el asfalto modificado.

Propiedad	Asfalto convencional	Asfalto modificado	Norma
Penetración (1/10 mm), (a y b)	80	68-70	ASTM D 5 96
Punto de ignición, (°C)	245	290	ASTM E 709
Punto de inflamación(°C)	238	262	ASTM D 92-78
Punto ablandamiento (a y b), °C	45-48	65-70	ASTM 35-76
Pérdida de masa (g) a:			
125 °C	1,0	0,8	ASTM D 6-39 T
150 °C	4,0	1,8	

Se determinaron las características físicas del asfalto convencional y del asfalto modificado ACR50A+Caucho = AMCV (asfalto modificado con caucho vulcanizado). La Tabla 9. muestra los resultados de esta caracterización.

Los resultados de las características físicas del asfalto convencional y del asfalto modificado ACR50A+Caucho = AMCV (asfalto modificado con caucho vulcanizado) que se muestran en la Tabla 9. corresponden al asfalto modificado M4 (14% de caucho) que se ha considerado el óptimo. Los mismo arrojaron que las muestras con un 14% de caucho adicionado a la mezcla lograron la de mayor estabilidad y las mejores propiedades físicas, reblandecimiento, ahuellamiento, fisura, viscosidad, fragilidad en frio, entre otras.

Conocer las posibilidades de los diferentes solventes en cuanto al poder de disolución de la asfaltita es de suma importancia para la tecnología de obtención del asfalto modificado a partir de la mezcla de asfaltita + asfalto + caucho. El disolvente tendrá que poder disolver la asfaltita, el asfalto fluido y atacar al caucho hinchándolo. De acuerdo con los resultados obtenidos, el benceno, la gasolina, cloro benceno, bisulfuro de carbono y el tolueno son buenos disolventes de la fracción bituminosa de la asfaltita, no así el éter de petróleo de 880 Be, debido a que no disuelve los asfaltemos. De ellos el más aconsejable es tolueno que tiene un buen poder de disolución y además disuelve el caucho y es uno de los menos tóxicos.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvo un ACR modificado con un 14% de caucho que aportó al producto final una mayor estabilidad y mejores propiedades físicas: reblandecimiento, ahuellamiento, fisuramiento, viscosidad, fragilidad en frio, entre otras.
2. Los resultados mostraron que la modificación del asfalto + asfaltita con caucho incrementa su viscosidad, disminuye su punto de ablandamiento y aumenta su ductilidad, resultados que se corresponden con los asfaltos empleados a nivel mundial y corroboran la variación de su susceptibilidad térmica.
3. El empleo del caucho como modificador en la granulometría > 0.7 mm influyó directamente en la homogeneidad estructural del ligante y por lo tanto fue la de mejores resultados en cuanto a compatibilidad y estabilidad del asfalto modificado.
4. La experiencia demostró que se pueden variar las características del asfalto modificado con variaciones en el tiempo y la temperatura de digestión con lo que se pueden obtener asfaltos de diferentes resistencias para diversas aplicaciones
5. Los resultados alcanzados constituyen una base de partida para optimizar formulaciones y desarrollar a escala piloto la elaboración de ligantes y mezclas de asfaltita modificada + caucho para la

ejecución experimental en condiciones de explotación.

BIBLIOGRAFÍA

- Corners Road Steels. E. 2010. Manual del caucho Struktol Company of America 201.
- Figueroa, A. S., Fonseca, E. B., Reyes, A. 2009. Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado, Universidad Pontificia Javeriana Colombia. Ingeniería y Universidad, Vol. 13, Núm. 1, enero-junio: 45-70.
- Figueroa A.S. Y Reyes F.A. 2004. Asfaltos modificados con polietileno, Universidad de La Salle, D.C. CECATA – INDETEC Bogotá.
- Gallego, J. 1999. Mezclas bituminosas modificadas por adición de polvo de neumáticos. Estudio de la influencia de las características del caucho y del proceso de fabricación y puesta en obra de la mezcla. Madrid (Tesis Doctoral).
- Herbert, A. 1945. Asphalts and allied substances D. Nostrand Company, Inc. London. Edition, New York. Ministerio de Obras Públicas. 2010. Empleo de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas mediante Proceso por vía seca y comparación con el proceso por vía húmeda. Laboratorio Nacional de Vialidad Dirección de Vialidad Santiago de Chile.
- Miró, R. 2002. Control sobre el Producto y el coste de la falta de calidad en la ejecución de mezclas asfálticas, Infraestructura Vial Volumen 4, N°1
- Normas Españolas NLT 346/90. Resistencia a Compresión Diametral (ensayo Brasileño) de Mezclas bituminosas.
- Páez, A.; Bernaldo de Quirós, P.; Miró, R. 2004. Betún modificado con polvo de Neumáticos. VI Congreso Nacional de Firms. León.
- Pérez F.; Miró, R., Martínez A. 1999. Empleo del ensayo de Tracción indirecta para el control de calidad de la ejecución de mezclas bituminosas, Congreso Ibero- Panamericano del asfalto. Sevilla, España. (Memorias) 869-877.
- Reyes, F.A. 2004 Mejoramiento de las mezclas drenantes utilizando como ligante el Asfalto-Caucho. Grupo CECATA. Universidad Javeriana.
- Reyes F.A. 2005. Uso de desperdicio plástico para mejorar las propiedades mecánicas de la estructura de pavimento. Universidad Javeriana.
- Sánchez González, A. Arq. 2011 Asfaltos modificados. (Conceptualización, aplicación, control y pruebas).
- Tonda, M. 2010. Asfaltos Modificados con Polímeros. <http://es.wikipedia.org/wiki/Asfalto> (consulta: enero 2011).