



OBTENCIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS A PARTIR DE ASFALTITA DEL YACIMIENTO MANUELA CON LA ADICIÓN DEL CAUCHO RESIDUAL DE LAS EMPRESAS DE RECAPE DE GOMAS

Miguel A. Anaya Alfonso^[1], Anolan Díaz Fernández^[1], Eduardo A. Mérida La O^[1], Mileydis Padilla Carta^[1], Nircida Alvarez Maxan^[1], Biberto Jiménez Pascual^[1], Maykela Pajes Arosarena^[1].

^[1]Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Carretera de Varona km 11/2, Boyeros, La Habana, Cuba. Telf. 643-9036 ext. 117. eduardo@cipimm.minbas.cu; anolan@cipimm.minbas.cu;

RESUMEN

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. Los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación de modificadores polimérico como el caucho al asfalto, son sustancias muy estables en el tiempo y a cambios de temperatura; por sus características se añaden al asfalto para modificar sus propiedades físicas y reológicas, disminuir su susceptibilidad a la temperatura, humedad y oxidación. La modificación tiene como objetivo realizar una activación superficial iónica, para producir adherencia entre el asfalto y el material de relleno inorgánico. La adherencia debe mantenerse aún en presencia del agua, aumentando la resistencia de la mezcla asfáltica a los esfuerzos de tensiones repetidos, reduciendo el agrietamiento, aumento de su resistencia a la degradación por calor y otros. Una ventaja adicional de 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 ahullamiento. Para la obtención del asfalto modificado se utilizó el proceso de vía húmeda donde el polvo del neumático se dispersa en el betún; la materia prima y los aditivos se llevaron a estado fluido para su total y adecuada homogenización. El equipamiento que se utiliza en esta tecnología es sencillo, tradicional. Primero se modificó la estructura de la asfaltita llevándola de asfalto natural (sólido) a un gel, al unirla con el asfalto fluido y caucho residual. Los mismos se clasifican como tipo sol-gel, según la caracterización química realizada. Se verificó la relación directa entre las propiedades físico-química del ligante y su composición química. La cantidad del caucho adicionada al asfalto determinó sus características físicas y químicas. El tamaño de partícula del caucho cuando es añadido al asfalto como modificador influye directamente en la homogeneidad estructural del ligante y, por lo tanto, determina la compatibilidad y estabilidad de las fases del ligante modificado. 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 disolventes. 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 empleo de un porcentaje importante de caucho en la obtención del asfalto modificado contribuye a la solución del problema ambiental (acumulación de polvo residual), y al logro de las propiedades físico-químicas requeridas para el producto.

ABSTRACT

The work approaches the obtaining of asphalt modified for diverse uses starting from the asphaltite of the Manuela deposit, with the addition of asphalt fluid and residual rubber of the recap of tires, like a solution to the environmental problem that causes this residual.

The modified asphalts are the product of the breakup or incorporation of modifier polymeric like the rubber to the asphalt, they are very stable substances in the time and to changes of temperature; for their characteristics they are added to the asphalt to modify their physical and rheological properties, to diminish their susceptibility to the temperature, humidity and oxidation.

The modification has as objective to carry out an ionic superficial activation, to produce adherence between the asphalt and the material of inorganic filler. The adherence should still stay in presence of the water, increasing the resistance from the asphaltic mixture to the repeated effort of tensions, reducing the cracking, increase of its resistance to the degradation for heat and others. An additional advantage of the asphaltite is its no content of



mineral matter associate that contributes filler with contents bigger than 50% that reduce the plastic deformations and the ahullamiento.

For the obtaining of the modified asphalt the process was used of humid way where the powder of the tire is dispersed in the polish; the matter prevails and the additives were taken to flowing state for its total and appropriate homogenization. The equipment that is used in this technology is simple, traditional. First it modified the structure of the asphaltite taking it of natural asphalt (solid) to a gel, when uniting it with the flowing asphalt and residual rubber. The same ones are classified as type sun-gel, according to the carried out chemical characterization. The direct relationship was verified between the physical-chemical properties of the bond and its chemical composition. The quantity of the rubber added to the asphalt determined its physical and chemical characteristics.

The size of particle of the rubber when it is added to the asphalt like modifier influences directly in the structural homogeneity of the bond and, therefore, it determines the compatibility and stability of the phases of the modified bond.

The result of the best studied formulation threw 15% of rubber content, the dosage of the asphaltite of 50%, and as solvent was selected the toluene, due to its biggest solubility in the asphaltite in front of other solvents. A significant change was not verified in the chemical structure of the bond because the obtained modified asphalt is a stable and homogeneous physical -polymer asphalt mixture. The use of an important percentage of rubber in the obtaining of the modified asphalt contributes to the solution of the environmental problem (accumulation of residual powder), and to the achievement of the physical-chemical properties required for the product.

INTRODUCCIÓN

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 Asphaltites (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. ^[WIKIPEDIA]

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 de un polímero de caucho o de hule (ambos como materiales de desecho, cuya destrucción afecta el medio ambiente) al asfalto. Estas sustancias son 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, J., 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. Aumentar la resistencia de la mezcla asfáltica a los esfuerzos de tensiones repetidos y fátigas, reduciendo así el agrietamiento y otras características importantes dependiendo del tipo de aplicación. [Páez, A., et al, 2004]

Los objetivos que se persigue esta investigación es 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 a utilizar 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 mejora 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, A. 2011.]

Generalidades

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, A. 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 sollicitaciones inducidas por el tráfico. Disminuyendo la dureza del asfalto, se minimizará el riesgo de fallo por fragilidad. [Tonda, M. 2010]

Entonces, 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. Donde 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.

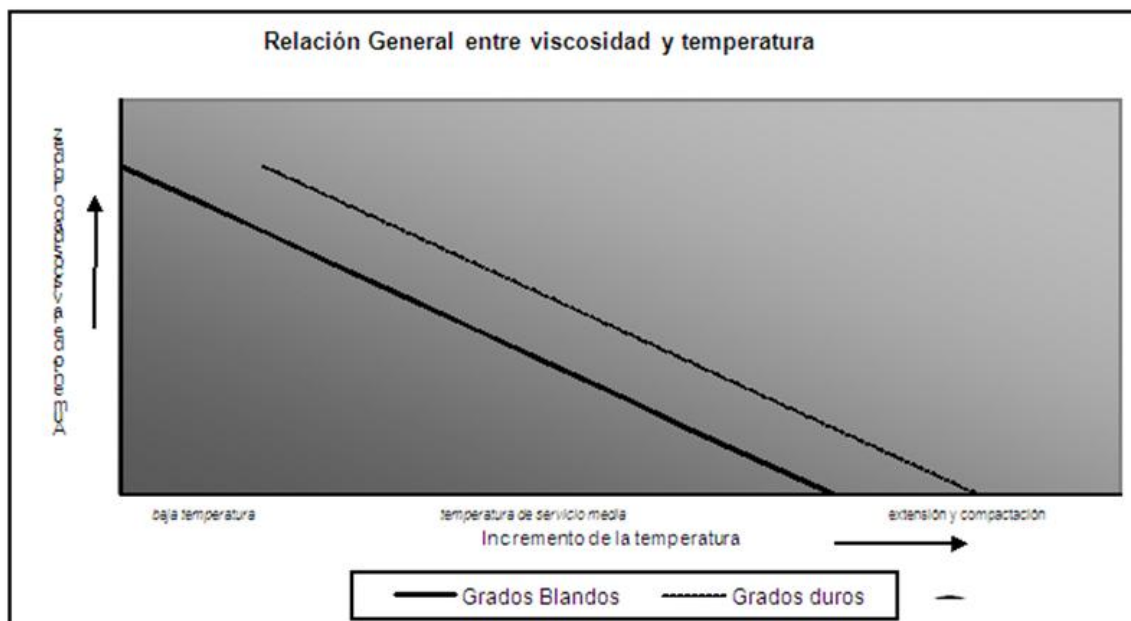


Figura 1 Propiedades y especificaciones de los asfaltos modificados con polímeros.

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formadas por la unión de cientos o miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). 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, M. 2010]



Collins et al (1995) realizó un trabajo acerca de los asfaltos modificados con polímeros. Estos autores demostraron que los polímeros mejoran las propiedades del asfalto, a altas temperaturas. Como se ha dicho, la selección del asfalto, el grado del asfalto, el tipo de polímero, así como su concentración influyen en las propiedades del producto final, como también esos factores determinan si se forma o no estructura tipo red. Ellos estudiaron la red formada mediante microscopia electrónica de transmisión y de barrido, preparando secciones delgadas de muestras (figura 2), embebiendo la mezcla de asfalto –polímero en una resina y succionándola a menos de 110°C. [Figuerola, A., et al 2009]

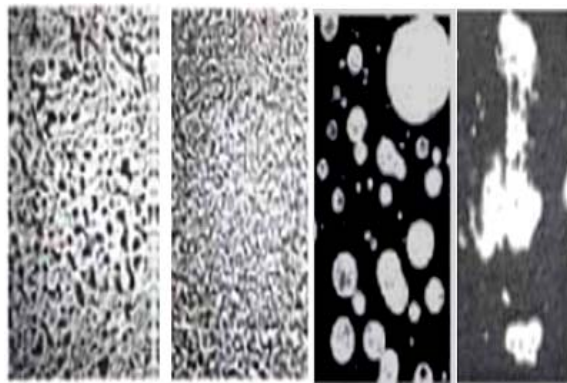


Figura 2 Morfología de los ligantes modificados con polímero (Fuente:Riviera 1997) (Figuerola, I., et al 2009).

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 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

Asfaltita.

Las asfaltitas son sustancias bituminosas naturales, sólidas, de color negro brillante, de aspecto resinoso y fractura conoidal 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 OBe.
- Nafta ligera (96 OBe – 160 OBe).
- Gasolina.



- Aguarrasina o aguarás.
- Tetracloruro de carbono.
- Cloro benceno.
- Tricloroetileno.
- n-hexano.

Métodos.

Método estadístico de procesamiento numérico: Diseño experimental para el procesamiento de datos en la formulación de mezclas.

Preparación de mezclas de asfalto fluidizado con asfaltita.

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

Determinación del tiempo y temperatura de digestión.

La determinación de la temperatura y el tiempo de digestión, aplicando 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). El cálculo de resistencia conservada es R y se calcula según la expresión:

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

La definición del tiempo y la temperatura de digestión, se realiza preparando probetas a diferentes temperaturas de digestión, 150°C, 160°C, 170°C y 180 0C, y el tiempo de digestión es de 1 y 2 horas y 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 estas probetas son comparadas se comparan contra el patrón sin caucho. [(Lezcano, A., et al 2010), (Reyes F.A. et al., 2005)]

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.
- El asfalto se debe controlar a una temperatura de 175 ±3°C por una hora, antes de pasar al proceso de emulsificación.
- 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 I a la III.

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

Tabla I 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 II 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
Carbono (C)	79,60
Hidrógeno (H)	7,60
Nitrógeno (N)	0,64
Oxígeno (O)	5,19
Suma total	100,0

En la tabla II se identificó que el mayor constituyente de la Asfaltita son los asfáltenos (Los asfáltenos son hidrocarburos de elevado peso molecular consistiendo en ramificaciones parafínicas 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. [CAMPOS RODRÍGUEZ, C. E] Se puede aseverar que un 80% era netamente carbono en sus diferentes estados.

En la tabla III se presenta la variación que experimenta el poder calórico de la asfaltita en su estado natural. Al secar la asfaltita a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, 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 %.



Tabla III Poder calórico de la Asfaltita Manuela.

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

Pruebas de solubilidad de la asfaltita en diferentes solventes orgánicos.

En la tabla IV se presentan los resultados obtenidos de la disolución de las asfaltita en diferentes solventes.

Tabla IV Solubilidad de la asfaltita en diferentes solventes orgánicos.

Solventes	Asfaltita (%) extracción
Benceno	60,5
Éter de petróleo de 880 Be	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.

Conocer las posibilidades de estos 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 a los resultados obtenidos, el benceno, 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.

Tabla V Características del asfalto ACR modificado con asfaltita.

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

Los resultados obtenidos en la tabla V, 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 asfaltes empleados para ser modificados con caucho en la literatura consultada. Se establece mediante la determinación del punto de ablandamiento y la variación de la solubilidad de las muestras la existencia de modificaciones en el asfalto modificado por variación de su susceptibilidad térmica propiedades.

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 VI. 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.

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

Fracción Granulometria (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

Sin embargo se llevó el tamaño de partícula a 0,710 milímetros (Malla 25 de la ASTM), obteniendo una la granulometría requerida para las pruebas. A partir de esta fracción granulométrica realizamos 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 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)

Las variantes de ACR50A se resumen en la tabla VII, la adición de caucho propuesta será desde 15 % hasta un 20%. Punto de reblandecimiento: ASTM 36

Tabla VII 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

Los resultados obtenidos aplicando la tecnología vía húmeda con adición de caucho como aditivo poseen una buena estabilidad en las muestras (M1, M2 y M3), debido a que la diferencia de



temperatura entre el punto de ablandamiento superior e inferior es similar. Entre las muestra analizadas M4, M5 y M6, tienen una diferencia entre sus puntos de ablandamiento (altos), lo que indica que no están estabilizadas, nótese el incremento de la diferencia entre los puntos índice de la disminución de compatibilidad. Las muestras de ensayo se prepararon en viales de aluminio de 4 cm de diámetro y 6 cm de profundidad. En los ensayos se tomó como referencia la muestra M1 (15 % de caucho).

Como se puede observar en la tabla VIII, las muestras M5 y M6 tienen los mejores valores de resistencia conservada para un tiempo de digestión de 1 h y 2 horas a una temperatura de 180°C para una composición de 18 y 20% de caucho (pero no estabilizadas). 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%). Las muestras M1 y M2, aunque los valores son bajos no son despreciables. Esto nos da una idea de que se pueden variar las características del asfalto modificado con variaciones en el tiempo y la temperatura de digestión pudiendo obtener asfaltos de diferentes resistencias para diversas aplicaciones.

Tabla VIII Resultados del ensayo de digestión vs tiempo.

Muestra	T. Digestión, (°C)	t. 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).

La estabilidad de la mezcla asfalto ACR50A + caucho es un parámetro fundamental para el uso de la mezcla asfáltica debido a que si la muestra se mantiene homogénea con el tiempo, las propiedades del aditivo se transfieren a toda la mezcla. En la tabla IX se presentan las características físicas del asfalto convencional y del asfalto modificado ACR50A+Caucho = AMCV (asfalto modificado con caucho vulcanizado).

Tabla IX 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 a:			
125 °C	1,0	0,8	ASTM D 6-39 T
150 °C	4,0	1,8	

Los resultados que se muestran en la tabla IX 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 fue la de mayor estabilidad y de mejores propiedades físicas, reblandecimiento, ahuellamiento, fisura, viscosidad, fragilidad en frio, entre otras.



CONCLUSIONES

- 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 frío, entre otras.
- 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.
- 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.
- La experiencia demostró que se pueden variar las características del asfalto modificado con variaciones en el tiempo y la temperatura de digestión pudiendo obtener asfaltos de diferentes resistencias para diversas aplicaciones
- 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

- Campos Rodríguez, C. E. Influencia del contenido de asfaltenos en la combustión del petróleo cubano. Cuba. 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 Ministerio de Obras Públicas. Santiago – Chile. 2010.
- Figuroa, A. S., Fonseca, E. B., Reyes, A., 2009. Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado. Ingeniería y Universidad, Vol. 13, Núm. 1, enero-junio, pp. 45-70. Universidad Pontificia Javeriana Colombia.
- Figuroa A.S. Y Reyes F.A. 2004. Universidad de La Salle, Asfaltos modificados con poliestireno, Bogotá D.C. CECATA – INDETEC.
- 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". Tesis Doctoral. Madrid.
- Herbert A. 1945 Asphalts and allied substances D. Nostrand Company, Inc. New York, London. Edition.
- Manual del caucho Struktol Company of America 201 E. Steels Corners Road. 2010.
- 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, Nº1
- Normas Españolas NLT 346/90. Resistencia a Compresión Diametral (ensayo Brasileño) de Mezclas bituminosas.
- Páez, A.; Bernaldo de Quirós, P. 2004 MIRÓ, R. "Betún modificado con polvo de Neumáticos". VI Congreso Nacional de Firmes. 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.869-877 Sevilla España.
- 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.
- Arq. Sánchez González, A. 2011 Asfaltos modificados. (Conceptualización, aplicación, control y pruebas). Quintana Roo, México.
- The asphalt Institute. , 1973 Manual del asfalto. Bilbao. Ediciones Urmo.
- Tonda, M. 2010 Asfaltos Modificados con Polímeros.. Wikipedia <http://es.wikipedia.org/wiki/Asfalto>