

Caracterización De Los Asfaltos Naturales Existentes En La Zona Artemisa – Matanzas Como Material Alternativo Para La Rehabilitación De Las Vías

Characterization Of The Existing Natural Asphalt In The Artemisa - Matanzas Area As An Alternative Material For Road Rehabilitation

Autores

Rosa Herrera de la Rosa¹, Norbier Pérez Rubio²

¹ MSc., Ingeniera Civil, Centro Investigación Desarrollo de la Construcción (CIDC), Calle Línea No 810 esq. Carretera de Casablanca, Casablanca, Municipio Regla, Provincia La Habana, rhlarosa2011@gmail.com

² Ingeniero químico, Centro Investigación Desarrollo de la Construcción (CIDC), Calle Línea No 810 esq. Carretera de Casablanca, Casablanca, Municipio Regla, Provincia La Habana.

RESUMEN

Los asfaltos naturales, son considerados como todos aquellos materiales encontrados en la naturaleza, que contienen alguna proporción de crudos de petróleo y que afloran a la superficie en forma líquida o sólida, de los cuales existen grandes reservas en el mundo y son habitualmente usados en la modificación de asfaltos y en las mezclas asfálticas para pavimentación.

El trabajo expone la caracterización física y química de cinco muestras de asfalto natural cubano, en vistas a su empleo como material alternativo del asfalto de refinería, para la rehabilitación de las vías. Las muestras seleccionadas representan las zonas principales de los depósitos de asfalto natural identificados en Cuba, la zona Mariel – Cayajabos en la provincia de Artemisa, donde se presenta la mayor concentración de depósitos de asfaltitas del país, la zona de Bejucal y la zona Peñón - Martí de la provincia Matanzas, con los depósitos más importantes conocidos de rocas asfálticas. Los ensayos realizados establecen contenidos de asfaltos impregnados en las rocas que oscilan desde el 60 % en peso para las asfaltitas y 16 % para las rocas y lo catalogan como asfaltos con un alto grado de oxidación, los cuales se estima puedan ser empleados como modificador de asfaltos blandos de refinería o crudos de baja viscosidad, pudiéndose también explorar su uso como impermeabilizante. La muestra de asfalto nativo de Peñón estudiada requiere proceso previo de deshidratación para su empleo y se caracterizó como un fluido viscoso, de alta penetración.

Palabras claves: asfaltos naturales, asfaltitas, rocas asfálticas.

ABSTRACT

Natural asphalts are considered as all those materials found in nature, that contain some proportion of crude oil and that come to the surface in liquid or solid form, of which there are large reserves in the world and are usually used in the modification of asphalt and asphalt mixtures for paving.

The work exposes the physical and chemical characterization of five samples of Cuban natural asphalt, with a view to their use as an alternative material for refinery asphalt, for the rehabilitation of roads. The selected samples represent the two main areas of natural asphalt deposits identified in Cuba, the Mariel - Cayajabos area in the Artemisa province, where the highest concentration of asphaltite deposits in the country is present, and the Peñón - Martí area of the province of Matanzas, with the most important known deposits of asphalt rocks. The tests carried out establish asphalt contents impregnated in the rocks that range from 60 % by weight for the asphaltites and 16 % for the rocks and classify them as asphalts with a high degree of oxidation. The Peñón native asphalt sample studied is a viscous fluid, with high penetration and requires a prior dehydration process for its use.

Keywords: asphaltite, asphalt rocks, natural asphalts.

1. INTRODUCCIÓN

Los asfaltos naturales, son considerados en forma general por diversos autores, como todos aquellos materiales encontrados en la naturaleza, que contienen alguna proporción de crudos de petróleo y que afloran a la superficie en forma líquida o sólida [1, 2, 3].

Existen grandes reservas de asfalto natural en el mundo, entre los más mencionados en la literatura se encuentra el lago Bermúdez del estado de Sucre en Venezuela, no explotado hoy en día. El lago de asfalto de la isla Trinidad y Tobago, conocido también como "Pitch Lake", que es actualmente explotado y utilizado en la modificación de asfaltos de refinería, lo cual se encuentra regulado en especificaciones de la ASTM [4, 5]. La explotación de este lago natural de asfalto se realiza mediante la comercialización de diferentes productos, para la modificación del asfalto de destilación, con el objeto de mejorar sus características.

Otros depósitos importantes de asfalto natural se referencian en las llamadas arenas bituminosas, presentes en varios lugares del planeta, donde se destacan los depósitos ubicados en la provincia de Alberta en Canadá y las arenas asfálticas se encuentran en Arabia Saudita. La ingeniería del petróleo explota estos yacimientos, de donde extrae **un bitumen similar al petróleo** [6, 7].

Colombia reporta la existencia de numerosos depósitos de asfalto natural, casi siempre rocas impregnadas y en menor proporción, flujos superficiales y vetas. Cuenta con una amplia experimentación de estudio para generalizar el empleo de los asfaltos naturales como soluciones locales en vías secundarias y terciarias en su país, como estabilizador de materiales locales de baja plasticidad, y como modificador, tanto del cemento asfáltico como de la mezcla asfáltica en caliente. Se destaca de sus estudios que sus rocas asfálticas tienen contenidos de asfalto en el orden de 4 a 13 % y son generalmente un material compuesto por arenas finas. Las características de asfalto contenidas en ellas varían desde penetración 31 dmm, hasta asfaltos blandos de penetración por encima de 200 dmm, lo cual depende del lugar en que fue extraído el material. La generalidad de los estudios reportan resultados satisfactorios para su empleo en viales [8-14].

Los asfaltos naturales están presentes en Cuba, formados mediante la biodegradación y oxidación natural del petróleo, los cuales están representados por las asfaltitas y rocas asfálticas (bitúmenes asfálticos sólidos), y por las rocas bituminosas y el asfalto nativo (bitúmenes asfálticos semifluidos). Estos asfaltos naturales se presentan principalmente en rocas sedimentarias, siendo las litologías más favorables areniscas, calizas y margas, entre otras [15].

La utilización de estos asfaltos naturales de Cuba se referencia en un amplio historial, desde fechas tan antiguas como el año 1515, cuando se utilizó este asfalto natural, en la impermeabilización de buques, obras de madera y albañilería, en el naciente puerto de La Habana. Durante la primera mitad del siglo XX, las asfaltitas cubanas fueron exportadas a USA y Gran Bretaña, donde fueron utilizadas en la pavimentación de las calles de Londres y Nueva York [16]. A partir de 1959, se han realizado diversas investigaciones a lo largo de los años para ser introducidas en la práctica vial del país, sin que finalmente se haya generalizado su empleo [8].

Dentro de los depósitos más importantes de asfalto natural identificados en Cuba, se encuentran, la zona Mariel – Cayajabos en la provincia de Artemisa, donde se presenta la mayor concentración de depósitos de asfaltitas del país y la zona Peñón - Martí de la provincia Matanzas con los depósitos más importantes conocidos de rocas asfálticas [17].

No obstante, a que existen estudios previos de estas rocas en Cuba, se hace necesario, la actualización de las características físico químicas de estos recursos naturales, para el conocimiento a fondo de sus propiedades, con vistas a su empleo como material alternativo, del asfalto producto de la refinación del petróleo. Su conocimiento detallado facilitará que su empleo en la práctica vial de Cuba se realice de forma exitosa y eficiente y se convierta en una solución competitiva para la conservación de nuestros pavimentos

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución del estudio exploratorio de las características de los asfaltos naturales cubanos se utilizaron cinco muestras tomadas en diferentes zonas (figuras 1 y 2):

- Muestra asfaltita Manuela: recogida de una extracción de 200 m³ realizados en la veta Manuela en el Mariel.
- Muestra asfaltita Bejucal: extraída del afloramiento en un camino rural en la zona de Rio Hondo, perteneciente a las vetas no afloradas San José y Ángela Elmira, en el municipio de Bejucal.
- Muestra roca asfáltica Angelita: recogida de un montículo de rocas a nivel de superficie, de una antigua explotación de la mina La Angelita.

- Muestra roca asfáltica Peñón: extraída de la ladera de una laguna formada por una antigua zona de explotación, cerca del caserío de San Cayetano.
- Muestra asfalto nativo Peñón. Muestra extraída de un área con emanaciones apreciables de asfalto a la superficie en la zona de Peñón. La denominación de asfalto nativo, referida como tal por el Instituto de Geología y Paleontología (IGP), debido a que se manifiestan como manaderos naturales de afloramientos de asfalto en el suelo, que cubren un área generalmente pequeña (menor de uno o dos metros cuadrados).



Figura 1. Imágenes de los fragmentos de roca de cada depósito. De izquierda a derecha: Manuela, Bejucal, Angelita y Peñón.



Figura 2. Afloramiento del asfalto nativo de la zona El Peñón donde se tomó la muestra para ensayo.

Los fragmentos de roca de cada emplazamiento fueron sometidos a un proceso de trituration para obtener una granulometría de empleo. Para ello se utilizaron molinos pequeños de laboratorio de tipo martillo.

La metodología de la investigación estuvo encaminada a la evaluación general de las muestras a partir de ensayos de laboratorio para su caracterización química, así como los ensayos necesarios para su caracterización física, con vistas a obtener la mayor información posible que nos permita determinar las posibles formas en que pueden ser utilizadas en la pavimentación vial [18, 19, 20].

Los ensayos previstos, que se resumen a continuación, se realizaron siguiendo la normativa cubana y en algunos casos normas internacionales:

- Granulometría: Se realizó de acuerdo con la norma cubana NC 178:2002 [21] y para la evaluación de las granulometrías se consideró la norma cubana NC 759:2010 [22] que recoge los requisitos de los áridos para mezclas asfálticas.
- Contenido de humedad de las rocas: Dado que estas muestras, son en su composición una mezcla natural de áridos minerales y asfalto, para la determinación del contenido de humedad en ellas, se utilizó la norma de ensayo del Instituto de Vías de Colombia INVE-783-13 [23], que refiere la determinación del contenido de humedad de mezclas asfálticas mediante secado en un horno.
- Pesos específicos y volumétricos: Fue realizado siguiendo las normas cubanas NC 186:2002 [24] y NC 181:2002 [25], respectivamente. Se utilizó una estufa de circulación de aire para la obtención de la condición saturada superficie seca.
- Contenido de asfalto en la roca: El contenido de asfalto impregnado en las rocas fue determinado utilizando dos procedimientos: Por ignición, a partir de la NC 398:2005 [26], adecuando las condiciones de ensayo a las que se establece en la norma INV E 705-13 [27], que cubre la determinación del contenido de material inorgánico o cenizas en los materiales bituminosos y por destilación, utilizando un sistema de destilación simple, desarrollado en el Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), utilizando como solvente el tricloroetileno para realizar la extracción del bitumen.

- Reología del asfalto extraído: Se evaluó a partir de los ensayos de penetración, temperatura de ablandamiento y viscosidad Brookfield, siguiendo las normas de ensayo NC ASTM D5:2014; NC ASTM D36:2016; ASTM D 4402/D4402M-15 respectivamente [28, 29, 30].
- Composición química del asfalto: Se utilizó el procedimiento basado en la norma ASTM D2549-95 [31]. Para la separación de aromáticos y no aromáticos por cromatografía de elución. A los asfaltenos separados durante la desalfaltenización se les continúa el proceso de acuerdo con la ASTM D-6560-00 [32]. De esta forma se obtiene la composición grupal SARA (saturados –aromáticos- resinas- asfaltenos).
- Contenido de agua del asfalto nativo: Se utilizó el método de ensayo recogido en la ASTM D 4006-00 [33], que cubre la determinación de agua en petróleo crudo por destilación. El sistema de ensayo se compone fundamentalmente por una manta de calentamiento, una trampa y un condensador.
- Contenido de azufre del asfalto nativo: Se utilizó el método descrito en la ASTM D 1552-00 [34], que establece la determinación del azufre total en productos de petróleo, aplicable a muestras con ebullición por encima de 177 °C y con un contenido de azufre no menor de 0,06% en masa.

3. RESULTADOS

Se presentan los resultados de los ensayos físico químico de caracterización en dos secciones: Rocas y asfalto nativo.

3.1. Asfaltitas Y Rocas Asfálticas.

- Granulometría obtenida.

La figura 3, representa los resultados del ensayo de granulometría en las diferentes muestras estudiadas. Como puede observarse, la granulometría obtenida, se corresponde a una fracción fina, tamaño máximo de 5 mm, encontrándose todas dentro del huso No.16 de la NC 759:2010. Se destaca que, en ambas rocas, Angelita y Peñón, con la trituration realizada se obtienen una curva granulométrica similar, no sucediendo así en el caso de las asfaltitas, donde Bejucal logró una granulometría más fina que Manuela, pudiendo ser indicador de una roca menos dura.

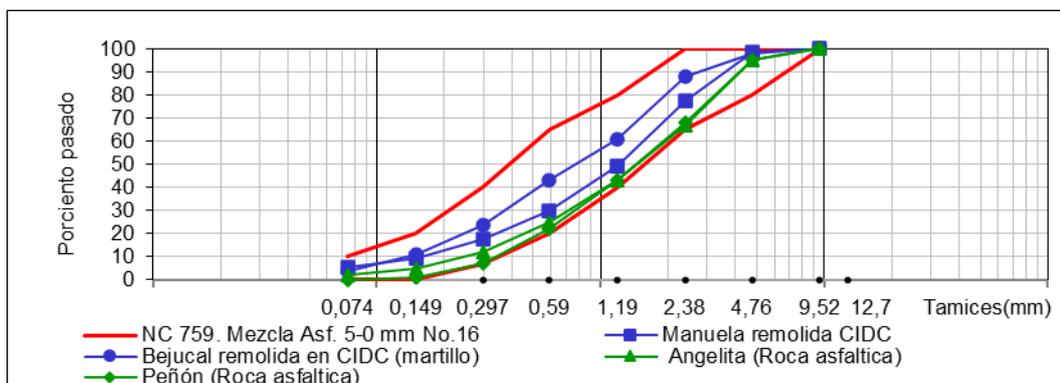


Figura 3. Curva granulométrica obtenidas luego del proceso de trituration de las muestras de estudio.

- Contenido de humedad. Pesos específicos y volumétricos.

Los resultados de estas determinaciones se exponen en la tabla 1. Exceptuando los resultados de Manuela, los contenidos de humedad de las rocas oscilan entre 1,5 % y 2,5 %. La diferencia puede estar asociada con las condiciones de exposición al sol en que se encontraban las rocas al momento de la toma de muestra. Solamente, la muestra de asfaltita Manuela, presenta un alto contenido de humedad, la explicación pudiera estar asociada a que el acopio de esta se encontraba a la intemperie, en conjunto con la forma en que se realizó la extracción de la misma en el yacimiento (por medio de buldócer), que le pudiera haber incorporado un determinado contenido de estéril (material arcilloso), que puede producir una mayor retención de la humedad.

Los pesos específicos y volumétricos son menores que los de un árido debido a la presencia del asfalto en el interior de la roca.

Tabla 1. Resultados de los ensayos físicos de las muestras de roca.

Propiedades físicas	Manuela	Bejucal	Peñón	Angelita
Contenido de humedad (%)	6,3	2,51	1,95	1,59
Peso específico (g/cm ³)	1,29	1,40	1,80	1,79
Peso volumétrico suelto (P V S) (kg/m ³)	898	828	889	1115
Peso volumétrico compactado (P V C) (kg/m ³)	1001	913	961	1242

- Contenido de asfalto en la roca y reología del asfalto.

El mayor contenido de asfalto se presenta en la asfaltita Bejucal (figura 4). Como promedio se obtuvo un contenido de asfalto para las asfaltitas en el orden del 64 % y para las rocas asfálticas un contenido en el orden del 16 %.

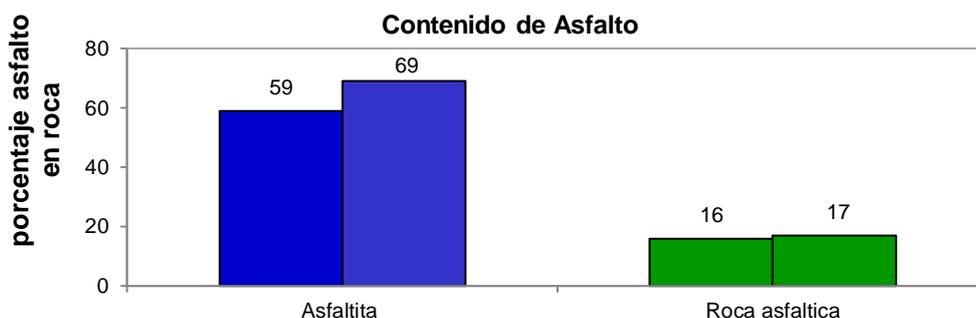


Figura 4. Resultados del contenido de asfalto por extracción de las muestras estudiadas.

El asfalto extraído de las asfaltitas presentó una dureza elevada siendo imposible lograr que fluyera aun a elevadas temperaturas, no pudiéndose conformar la muestra para la ejecución de los ensayos previstos de caracterización del asfalto contenido en la asfaltita. La explicación a este fenómeno está asociado a la composición química de este asfalto (obsérvese los resultados del SARA en figura 7), sugiriéndose que la diferencia que existe entre asfaltenos y maltenos, plantea una relación muy elevada, que hace que estos bitúmenes sean muy duros por la prevalencia de asfaltenos y el balance de los grupos que forman parte del material, no son suficiente para mantener la carga de asfaltenos en estado coloidal [35].

La figura 5 representa los resultados de la caracterización reológica del asfalto extraído de las rocas asfálticas. Se aprecian valores de penetración entre 1 y 5 dmm y temperaturas de ablandamiento entre 97 y 115 °C, denotando también un elevado grado de dureza, no considerándose diferencias significativas entre los resultados de ambas rocas en estos parámetros. Sin embargo, cuando se caracteriza su comportamiento a la susceptibilidad a la temperatura, a partir del índice de penetración y la viscosidad, se comienza a ver diferencia en la reología de estos dos asfaltos.

Los valores del índice de penetración (IP) calculados según la norma INVE-724-13 [36], para el asfalto de Angelita, de 3,5 (>+1), lo caracteriza como un asfalto de poca susceptibilidad a la temperatura, con características similares a los asfaltos oxidados. El IP de Peñón de -0,05 (entre -1 y +1), lo caracteriza como un asfalto de propiedades intermedias. La mayoría de los cementos asfálticos utilizados en carreteras tienen IP en este entorno.

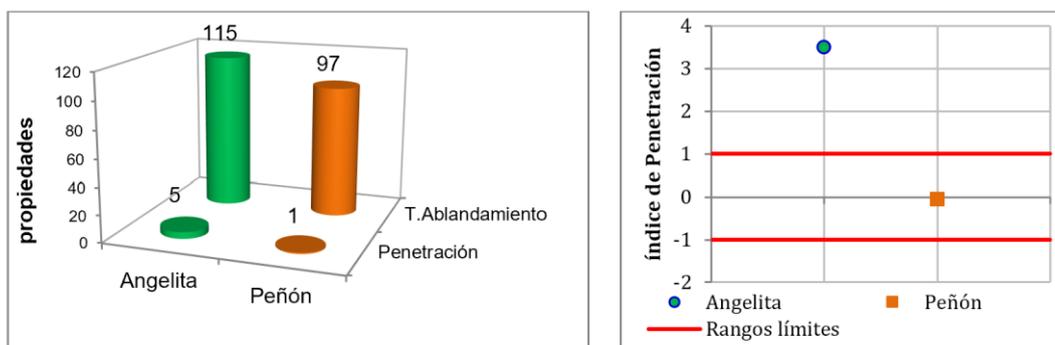


Figura 5. Resultados de la caracterización reológica del asfalto extraído de las rocas asfálticas Angelita y Peñón.

Por otra parte, según se puede apreciar en la figura 6, la relación viscosidad temperatura, también muestra diferencia entre estos dos asfaltos, lo cual puede explicarse sobre la base de que proceden de crudos diferentes, lo que origina diferente susceptibilidad a la temperatura en ellos.

Esta propiedad es muy importante para su utilización en la elaboración de mezclas, en tanto indica las temperaturas de manejo de estos. En el caso de Peñón, debe ser superior a los 165 °C.

En el caso de Angelita las temperaturas de manejo son muy superiores a los rangos que se establecen para la elaboración de mezclas asfálticas. Esta característica de Angelita sugiere su estudio como impermeabilizante o como modificador de asfaltos blandos de refinería, tal como se utiliza el asfalto natural de lago de Trinidad.

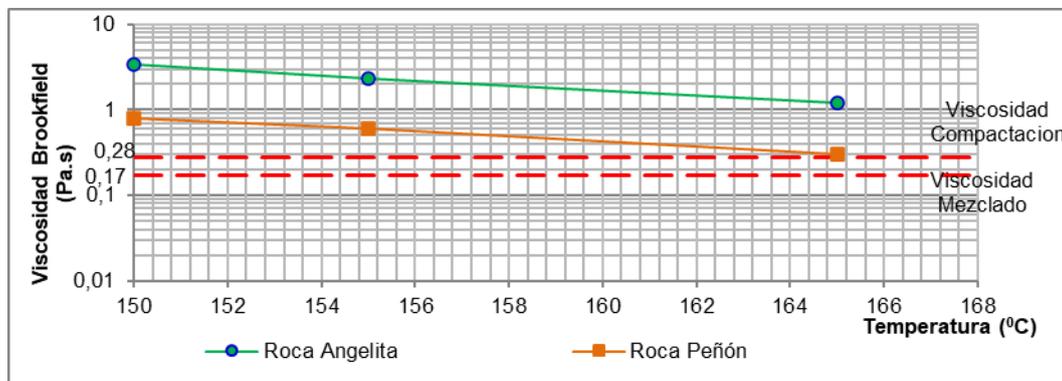
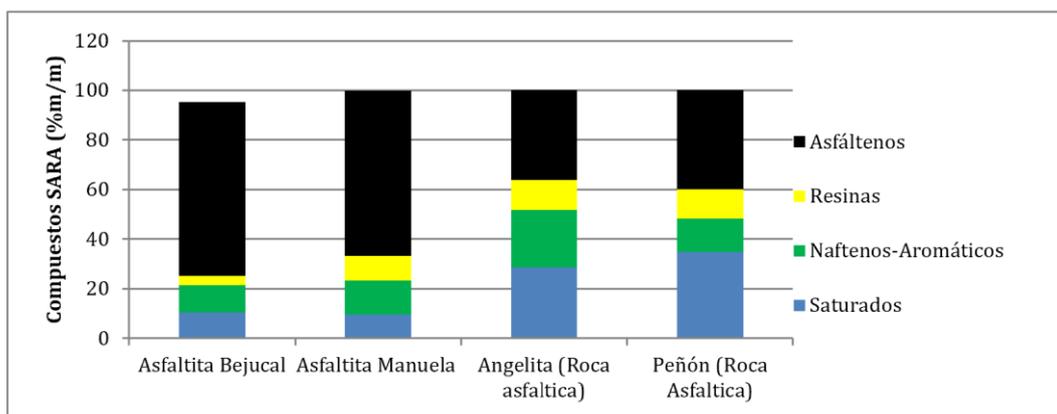


Figura 6. Carta viscosidad temperatura del asfalto extraído de las rocas asfálticas Angelita y Peñón.

- Composición química.

Las composiciones químicas obtenidas, se caracterizaron por contenidos similares en las dos muestras de asfaltita y de igual forma las dos muestras de roca (figura 7). El contenido de asfaltenos, que son los responsables del color y la dureza del asfalto, es alto, superior al que avala la experiencia internacional para los asfaltos empleados en carreteras. Este elevado contenido de asfaltenos determina su elevada dureza y fragilidad, asociado al alto grado de oxidación. Su composición química se corresponde con las propiedades físicas determinadas.



Compuestos (SARA)	Unidad	Bejucal	Manuela	Angelita	Peñón
Asfaltenos	%m/m	70,11	66,54	36,05	39,97
Resinas		3,78	10,12	12,21	11,78
Naftenos-Aromáticos		11,1	13,75	23,09	13,36
Saturados		10,35	9,53	28,65	34,90

Figura 7. Composición química grupal SARA del asfalto recuperado de las muestras de asfaltitas Manuela y Bejucal y rocas de Angelita y Peñón.

A la fracción mineral obtenida del proceso de extracción de asfalto, se le realizó el análisis químico a partir de la determinación de la composición oxídica de los áridos, como parte de la identificación del material (figura 8). Se apreciaron composiciones similares en dependencia del tipo de roca (asfaltita o roca asfáltica). En las rocas asfálticas se aprecia el origen calizo, con predominio de los carbonatos totales, mientras en las asfaltitas se manifiesta su origen silicio, con un mayor porcentaje de este componente.

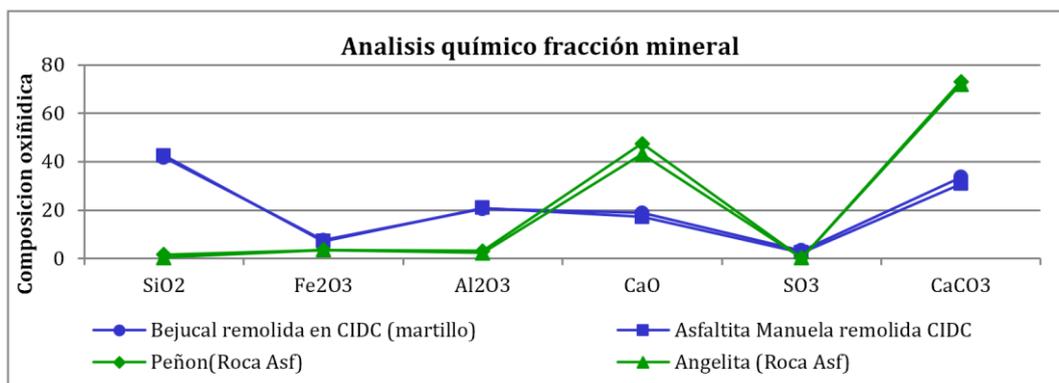


Figura 8. Composición oxídica de la fracción mineral de las muestras estudiadas.

3.2. Ensayos De Caracterización Del Asfalto Nativo De Peñón

Los resultados de la caracterización se representan en la figura 9. De inicio, se apreció un elevado contenido de agua en su composición (15 %), por lo que cualquier empleo, requiere someterlo a un proceso de deshidratación.

Para la ejecución del resto de los ensayos de caracterización, fue necesario deshidratar la muestra, para ello se utilizó un sistema de deshidratación térmica que se encuentra montado en el laboratorio de destilaciones del CEINPET. El proceso logró una reducción del agua del 99 %.

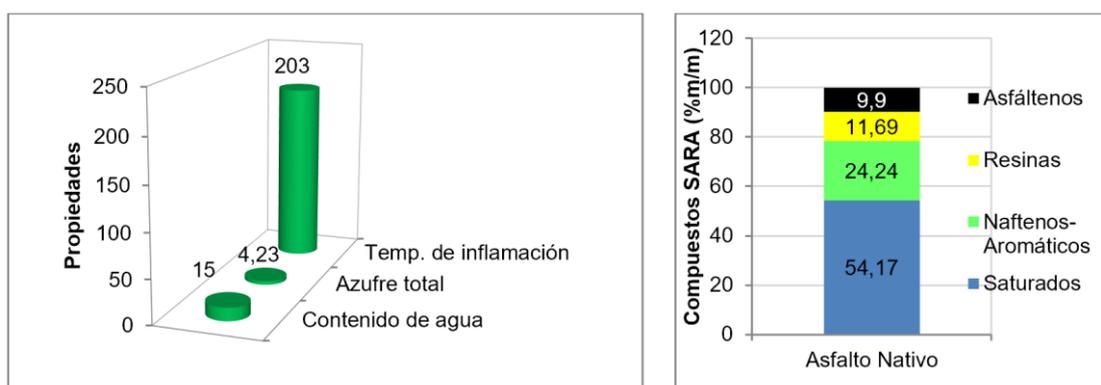


Figura 9. Resultados de los ensayos de caracterización del asfalto nativo Peñón.

En su composición química se destaca en mayoría los aceites en un 78 % y el contenido de asfáltenos (9,9%) está por debajo de lo deseado (>20). Pudiera esperarse que si se le somete a un proceso de temperatura para la eliminación del agua la composición química puede variar, es decir, parte de los aceites se convierten en resinas y las resinas en asfáltenos por el mismo proceso de oxidación. Otra opción de empleo pudiera ser modificándolo con la adición de las rocas asfálticas para mejorar sus propiedades como aglomerante de las mezclas asfálticas.

Los ensayos para determinar sus propiedades reológicas lo caracterizan como un fluido viscoso, de alta penetración (>300 dmm), pues luego de extraerle el agua emulsionada contenida en su interior, pasó a tener una consistencia más fluida que la muestra original extraída de la fuente (el agua emulsionada incrementa la viscosidad). La temperatura de inflamación supera los 200 °C y el contenido de azufre del 4 %, lo identifica como corrosivo para el acero al carbono, lo cual hay que considerar para su procesamiento industrial.

Por las características de la muestra deshidratada, se procede a determinar su reología utilizando el Rheómetro Anton Paar, a condiciones similares a las que se realiza a los crudos pesados: gradiente de corte (SR) de 0-100 s⁻¹ y a temperaturas de 50, 80 100 y 135 °C (figura 10). Solo a 50 °C el índice de flujo es menor que uno, lo que indica que a esta temperatura tiene un comportamiento pseudoplástico (no newtoniano, típico de los asfaltos), disminuyendo la viscosidad a incrementos del gradiente de corte (Shear Rate).

Para el resto de las temperaturas (80, 100 y 135 °C), el índice de flujo tiende a acercarse a 1, tendiendo un comportamiento similar a un fluido newtoniano, apreciado en el comportamiento lineal de la viscosidad con relación al gradiente de corte. Solo a gradientes de corte cero o muy pequeños tiene un comportamiento pseudoplástico.

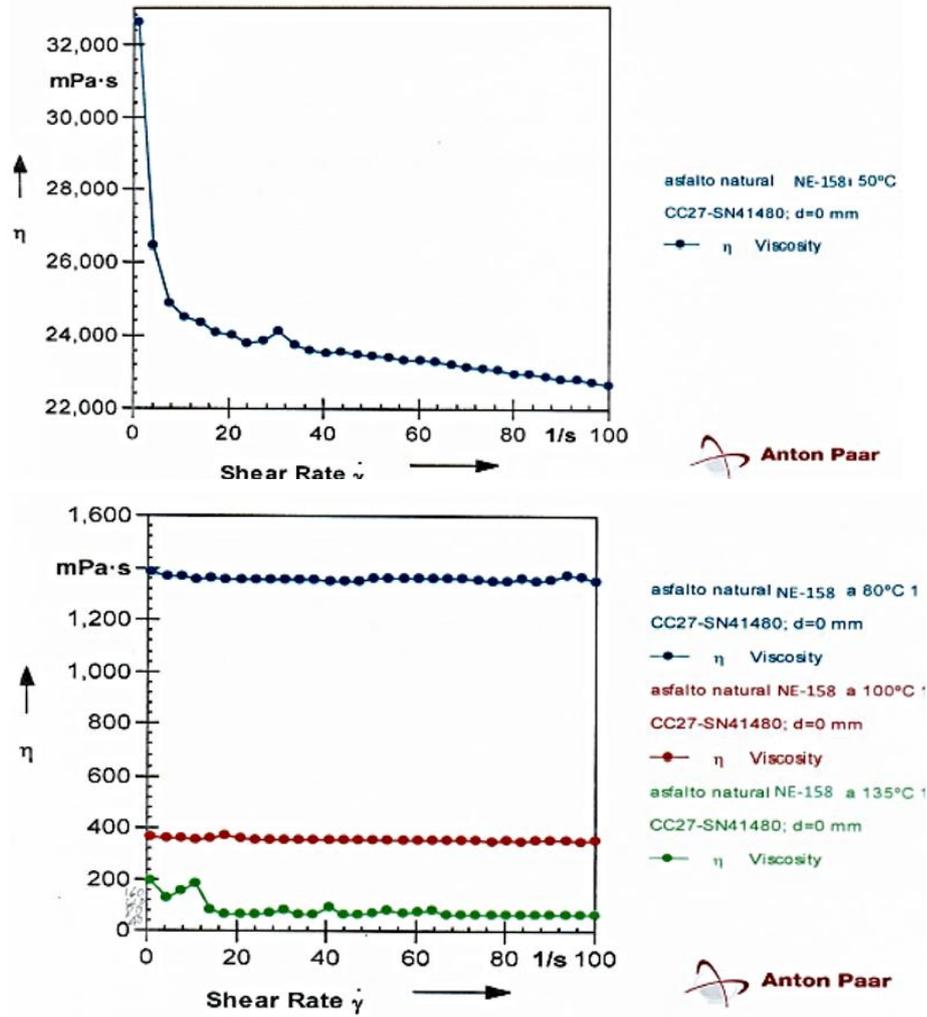


Figura 10. Curva viscosidad vs Shear Rate en el Reómetro Anton Paar. Arriba para 50 °C y debajo para 80, 100, 135 °C del asfalto natural de Peñón deshidratado.

La figura 11, representa la carta viscosidad temperatura para el trabajo con el asfalto nativo de Peñón. Se consideró los valores de viscosidad para gradiente de corte cero. De acuerdo a su viscosidad, no es posible trabajarlo a temperatura ambiente, debe aplicársele temperaturas entre 106 y 116 °C para su manejo en la elaboración de mezclas asfálticas.

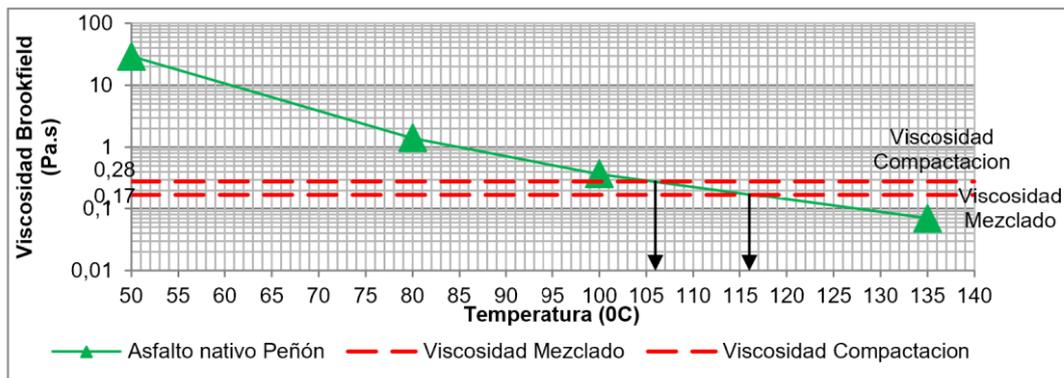


Figura 11. Carta viscosidad temperatura del asfalto nativo Peñón.

La caracterización de la muestra denominada asfalto nativo clasifica más como un crudo pesado, que como un asfalto, en correspondencia a otros estudiados en el país, con un comportamiento pseudoplástico.

4. CONCLUSIONES

Los resultados del trabajo exponen la caracterización de los depósitos más importantes de asfalto natural identificados en Cuba, con potencial empleo en la actividad de viales. Los parámetros obtenidos indican:

- Las asfaltitas de la zona Mariel y la zona de Bejucal, son similares, con contenidos de asfalto en su composición que oscilan entre 59 al 69 % y que se caracteriza por un alto contenido de asfáltenos que le confiere una elevada dureza y fragilidad, por su alto grado de oxidación.
- De acuerdo a su alto grado de oxidación, el empleo óptimo para las asfaltitas evaluadas (Manuela y Bejucal), pudiera ser como modificador de asfaltos blandos de refinería o crudos de baja viscosidad, pudiéndose también explorar su uso como impermeabilizante.
- Las rocas asfálticas de la zona Peñón- Angelita, presentan entre el 16 y 17 % de asfalto impregnado, lo que las convierte en un material con perspectiva de empleo en carreteras. Igualmente se caracterizan por presentar un alto grado de oxidación, con valores de penetración menor que 5 dmm y temperaturas de ablandamiento por encima de los 100 °C.
- Acorde a la susceptibilidad a la temperatura del asfalto presente en la roca asfáltica de Angelita pudiera ser empleado como modificador de asfaltos blandos de refinería o crudos de baja viscosidad, pudiéndose también explorar su uso como impermeabilizante, de igual forma que las asfaltitas estudiadas.
- El asfalto contenido en la roca de Peñón presenta una mejor susceptibilidad a la temperatura para su empleo en la rehabilitación de vías, pues sus temperaturas de trabajo se encuentran en el rango de las temperaturas de trabajo de las mezclas asfálticas.
- El asfalto nativo requiere de la aplicación de procesos de deshidratación previo a su posible empleo en la rehabilitación de vías, necesitando temperaturas de trabajo por encima de los 106 °C.

1. Villamil-Rojas, R. El asfalto natural como material de construcción de carreteras. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/ROBINSONVILLAMIL1/asfaltos-naturales>. Colombia, 2008.
2. Ruiz-Acero, J.C., Reyes-Ortiz, O.J., & Moreno-Anselmi, L.A. Evaluación del comportamiento mecánico del asfalto natural a partir de muestras a temperatura ambiente provenientes de Caquetá, Colombia. *Rev.investig.desarro.innov*, 6(2), 145-154. doi: <http://dx.doi.org/10.19053/20278306.3115>. 2016.
3. La modificación del asfalto por adición de asfaltita. Argentina. Boletín de e-asfalto. Recuperado de <http://www.e-asfalto.com/asfaltitas/asfaltitas.htm>. 2020.
4. ASTM D5710. Standard Specification for Trinidad Lake Modified Asphalt. Committee D04 on Road and Paving Materials. Annual Book of ASTM Standards.
5. ASTM D6608. Standard Practice for the Identification of Trinidad Lake Asphalt in Asphalt Mixes. Committee D04 on Road and Paving Materials. Annual Book of ASTM Standards.
6. Gómez-Rojas, O.P., G.-Borrego, A., Perea-Solano, C., Sánchez-Morales, O.A., y FlórezMolano, H.F. Caracterización preliminar de las arenas asfálticas de Picacho, municipio de Pesca (Boyacá, Colombia). *Boletín de Geología*, 40(2), 87-99. DOI: 10.18273/revbol.v40n2-2018005. 2018.
7. Búsqueda en internet. La ingeniería de petróleo en la explotación de arenas bituminosas. Recuperado de: <https://www.eadic.com/la-ingenieria-de-petroleo-en-la-explotacion-de-arenas-bituminosas/>. 2020.
8. Herrera de la Rosa, R. Informe Etapa 02. Estado del Arte. PNAP 04.07/19. Introducción y generalización del empleo de las asfaltitas y rocas asfálticas como materia prima en la elaboración de mezclas asfálticas. Centro Investigación Desarrollo Construcción. MICONS. La Habana, Cuba, 2020.
9. Peña – Acosta, E. A. Mejoramiento de vías secundarias y terciarias en Colombia con el uso de mezcla asfáltica natural en frío (asfaltitas). Análisis, aplicaciones y casos exitosos. Congreso Mexicano del Asfalto. 23 al 25 de agosto, Cancun. México. 2017.
10. Rondón-Quintana, H.A. y Alberto-Reyes, F. Comportamiento de una mezcla densa en caliente elaborada con asfaltos modificados con asfaltita. *Revista Tecnológicas* No. 22., p141-161, julio de 2009.
11. Salamanca-Rodríguez, E.C. Elaboración de la especificación particular para mezclas asfálticas usando la asfaltita de Pesca- Boyacá - Cantera Santa Teresa. Universidad Militar Nueva Granada Bogotá, Colombia. 2015.
12. Caro, S. y Caicedo, B. Tecnologías para Vías Terciarias: Perspectivas y Experiencias desde la Academia. *Revista de Ingeniería*, nº 45, 2017, pp. 12-21. Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia. 2017.
13. INVIAS, Artículo 442P – 17. Especificación particular para mezcla asfáltica natural. Instituto Nacional de vías. Colombia, 2017.
14. Mantilla-Forero y Castañeda-Pinzón. Estudio experimental del efecto del caucho reciclado y la asfaltita en el desempeño del asfalto. *Revista DYNA*, 86 (208), pp. 257-263, January - March, 2019.
15. Torres-Zafra, J.L. Resultados de la revisión de las posibilidades de ocurrencias de asfaltita, rocas bituminosas y manaderos de asfalto para su uso local. Instituto de Geología y Paleontología. Cuba, 2019.
16. Pavimentos cubanos para las rutas de Cuba. *Revista Dimensión* No 3,4 y 5. Año II. La Habana , enero de 1955.
17. Torres-Zafra, J.L. Acerca de la evaluación del potencial de recursos deasfaltitas y rocas bituminosas de la región Habana Matanzas. X Congreso Cubano de Geología (geología'2013). Geología y prospección de minerales no metálicos. Cuba, 2013.
18. Herrera de la Rosa, R. y Pérez Rubio, N. Informe Etapa 05. Caracterización de las muestras extraídas de la roca asfáltica de la zona Peñón-Martí y asfalto nativo de Peñón (Matanzas). PNAP 04.07/19. Introducción y generalización del empleo de las asfaltitas y rocas asfálticas como materia prima en la elaboración de mezclas asfálticas. Centro Investigación Desarrollo Construcción. MICONS. La Habana, Cuba. 2020.
19. Herrera de la Rosa, R. y Pérez Rubio, N. Informe Etapa 03. Caracterización de las muestras de la asfaltita del distrito Mariel Cayajabos. Yacimiento La Manuela. PNAP 04.07/19. Introducción y generalización del empleo de las asfaltitas y rocas asfálticas como materia prima en la elaboración de mezclas asfálticas. Centro Investigación Desarrollo Construcción. MICONS. La Habana, Cuba. 2021.

20. Herrera de la Rosa, R. y Pérez Rubio, N. Informe Etapa 08. Caracterización de las muestras de la asfaltita Bejucal en la provincia de Mayabeque. PNAP 04.07/19. Introducción y generalización del empleo de las asfaltitas y rocas asfálticas como materia prima en la elaboración de mezclas asfálticas. Centro Investigación Desarrollo Construcción. MICONS. La Habana, Cuba. 2021
21. NC 178:2002. Áridos. Análisis granulométrico. Oficina Nacional de Normalización. Cuba, 2022.
22. NC 759:2010. Áridos para mezclas asfálticas. Requisitos. Oficina Nacional de Normalización. Cuba, 2022.
23. INVE-783-13 Contenido de humedad de mezclas asfálticas en caliente por el método de secado en el horno. Manual de normas y especificaciones del INVIAS. Colombia. 2013.
24. NC 186:2002. Arena. peso específico y absorción de agua. Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización. Cuba, 2022.
25. NC 181:2002 Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo. Oficina Nacional de Normalización. Cuba, 2022.
26. NC 398:2005. Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Pinturas y adhesivos. Métodos de ensayo. Materia fija y volátil. Oficina Nacional de Normalización. Cuba, 2022.
27. INV E 705-13 Contenido de material inorgánico o cenizas en los materiales bituminosos. Manual de normas y especificaciones del INVIAS. Colombia. 2013.
28. NC ASTM D5:2014. Industria del petróleo. Método de ensayo estándar para penetración de materiales bituminosos (ASTM D 5: 2013, IDT). Oficina Nacional de Normalización. Cuba, 2022.
29. NC ASTM D 36:2016. Industria del petróleo. Método de ensayo estándar para determinar el punto de ablandamiento del bitumen (aparato de anillo y bola) (ASTM D 36: 2014, IDT). Oficina Nacional de Normalización. Cuba, 2022.
30. ASTM D4402/D4402M – 15. Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer. Committee D04 on Road and Paving Materials. Annual Book of ASTM Standards.
31. ASTM D 2549 – 91 (Reapproved 1995) Standard Test Method for Separation of Representative Aromatics and Nonaromatics Fractions of High-Boiling Oils by Elution Chromatography. Committee D04 on Road and Paving Materials. Annual Book of ASTM Standards.
32. ASTM D 6560-00. Standard Test Method for determination of Asphaltenes (Heptane Insolubles) in Crude Petroleum and Petroleum Products. Committee D04 on Road and Paving Materials. Annual Book of ASTM Standards.
33. ASTM D 4006 – 81 (Reapproved 2000). Standard Test Method for Water in Crude Oil by Distillation. Committee D04 on Road and Paving Materials. Annual Book of ASTM Standards.
34. ASTM D1552-00 Standard Test Method for Sulfur in Petroleum Products (High-Temperature Method). Committee D04 on Road and Paving Materials. Annual Book of ASTM Standards.
35. CEINPET. Informe de Caracterización del bitumen extraído de rocas. Laboratorio de análisis y tecnologías de productos pesados de petróleo. Contrato CIDC-CEINPET. 2020-2021.
36. INVE-724-13. Índice de penetración de los cementos asfálticos. Manual de normas y especificaciones del INVIAS. Colombia. 2013.