

Artículo de investigación científica

Cómo citar: J. Acevedo, M. Hurtado, S. Cháves "Uso de la técnica electroanalítica SEM para la caracterización de mezclas asfálticas tibias y semitibias. Estudio de caso de la MAPIA". *Inventum*, vol. 18 n.º 35, pp. 97-108, julio - diciembre 2023 doi: 10.26620/uniminuto.inventum.18.35.2023.97-108

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520
eISSN: 2590-8219

Fecha de recibido: 01 de junio de 2023
Fecha de aprobado: 01 de julio de 2023
Fecha de publicación: 15 de julio de 2023

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

Uso de la técnica electroanalítica SEM para la caracterización de mezclas asfálticas tibias y semitibias. Estudio de caso de la MAPIA

Use of the sem electroanalytical technique for the characterization of warm and semi-warm asphalt mixtures. MAPIA case study

Uso da técnica sem eletroanalítica para caracterização de misturas asfálticas quentes e semi-quentes. estudo de caso MAPIA

Resumen:

Con el análisis del uso del asfalto natural MAPIA (material pétreo impregnado de asfalto) en mezclas asfálticas en estado tibio (WMA) y semi-tibio (HWMA) se estudia la posibilidad de prolongar el ciclo de vida (LCA) en el uso cotidiano. En el estudio se empleó la técnica de caracterización SEM (*Scanning electronic Microscopy*) la cual arroja compuestos como la Albite (0,06%), el MgO (0,04%) (Oxido de Magnesio), el SiO₂ (0,18%) (Dióxido de Silicio) y un pequeño porcentaje de Ti (0,10%) (Titanio), los principales elementos encontrados en la muestra son el carbono (77,46%) y el oxígeno (14,26%). Se analizaron briquetas por el método Marshall a tres diferentes temperaturas: HMA (150°C), WMA (120°C) y HWMA (100°C) con un contenido de asfalto del 10%. En las briquetas te, las briquetas WMA la carga pico es de 5,3 kN para el flujo y carga 6,2 kN para la estabilidad, mientras que en la HMA la carga pico es de 4,5 kN para el flujo y carga 6kN para la estabilidad, con estos resultados, la temperatura óptima para realizar un futuro estudio de petrografía más detallado es la WMA basado en la respuesta similar ante las cargas, el considerar utilizar la MAPIA a menor temperatura podría representar un beneficio para el medio ambiente al producir menores emisiones y diseñar mezclas asfálticas que incluyan como variable de diseño la sostenibilidad ambiental en el LCA aportando al objetivo No. 9 del desarrollo sostenible (ODS). (Objetivos de desarrollo sostenible 2020).

Palabras claves: HWMA, LCA, SEM, Petrografía, MAPIA, WMA.

J. V. Acevedo-Pérez

Ingeniero civil, ingeniero Topográfico, Especialista en diseño de vías urbanas, tránsito y transporte, Estudiante de Maestría en ingeniería Civil Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Docente Vinculación especial UDFJC.

Email: jvacebvedop@udistrial.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5337-3351>

M. F. Hurtado Morales

Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

Email: hurtado.mikel@uniagraria.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7588-9313>

S. B. Cháves Pabón

Facultad de Estudios a Distancia, Universidad Militar Nueva Granada, Programa de Ingeniería Civil. Kilómetro 2 de la vía Cajicá-Zipacquirá, Cajicá, Cundinamarca, Colombia.

Email: saieth.chaves@unimilitar.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6950-9401>



Abstract:

With the analysis of the use of MAPIA natural asphalt (stone material impregnated with asphalt) in asphalt mixtures in warm (WMA) and semi-warm (HWMA) state, the aim is to study the possibility of prolonging the life cycle (LCA) in daily use (García, A., & Kikut Cruz, K., 2020). The SEM characterization technique (Scanning electronic Microscopy) was used, which yielded compounds such as Albite (0.06%), MgO (0.04%) (Magnesium Oxide), SiO₂ (0.18%) (Silicon Dioxide) and a small percentage of Ti (0.10%) (Titanium), the main elements found in the sample are carbon (77.46%) and oxygen (14.26%). Briquettes were analyzed by the Marshall method at three different temperatures: HMA (150°C), WMA (120°C) and HWMA (100°C) with an asphalt content of 10%. A minimal difference was found between the WMA and HMA briquettes, in the WMA the peak load is 5.3 mm for the flow and 6.2 kN for the stability, while in the HMA the peak load is 4.5 mm for the flow and 6 kN for the stability, with these results, the most optimal temperature to carry out a future more detailed petrography study is the WMA based on the similar response to the Considering the use of MAPIA at a lower temperature would be beneficial for the environment by producing lower emissions and designing asphalt mixtures that include environmental sustainability as a design variable in the LCA, contributing to Sustainable Development Goal No. 9 (SDG). (Sustainable Development Goals 2020).

Keywords: HWMA, LCA, Petrography, SEM, MAPIA, WMA.

Resumo:

Com a análise do uso do asfalto natural MAPIA (material pedreiro impregnado com asfalto) em misturas asfálticas em estado quente (WMA) e semi-quente (HWMA), o objetivo é estudar a possibilidade de prolongamento do ciclo de vida (ACV) no uso diário (García, A., & Kikut Cruz, K., 2020). Utilizou-se a técnica de caracterização por MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), que resultou em compostos como Albite (0,06%), MgO (0,04%) (Óxido de Magnésio), SiO₂ (0,18%) (Dióxido de Silício) e uma pequena porcentagem de Ti (0,10%) (Titânio), os principais elementos encontrados na amostra são carbono (77,46%) e oxigênio (14,26%). Os briquetes foram analisados pelo método de Marshall em três diferentes temperaturas: HMA (150°C), WMA (120°C) e HWMA (100°C) com teor de asfalto de 10%. Foi encontrada uma diferença mínima entre os briquetes WMA e HMA, na WMA a carga de pico é de 5,3 mm para o fluxo e 6,2 kN para a estabilidade, enquanto no HMA a carga de pico é de 4,5 mm para o fluxo e 6 kN para a estabilidade, com estes resultados, a temperatura ideal para realizar um futuro estudo mais detalhado da petrografia é a WMA baseada na resposta semelhante à Considerar o uso do MAPIA em uma temperatura mais baixa seria benéfico para o meio ambiente, produzindo menores emissões e projetando misturas asfálticas que incluem a sustentabilidade ambiental como variável de projeto na ACV, contribuindo para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 9 (ODS). (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2020).

Palavras-chave: HWMA, LCA, SEM, Petrografia, MAPIA, WMA.

I. INTRODUCCIÓN

La pavimentación de vías en zonas urbanas y rurales es un indicador del desarrollo social y económico de las regiones. Sin embargo, su construcción exige una cuidadosa optimización en la selección de materiales, considerando factores como costos, durabilidad, disponibilidad y sostenibilidad ambiental. [1]

En la elección de materiales se debe tener en cuenta la disponibilidad, en la zona del proyecto y adecuadas propiedades geomecánicas que aseguren una vida útil acorde al periodo de diseño estructural, con un costo de mantenimiento razonable; empleando en el proceso de construcción tecnologías limpias de bajo impacto ambiental; los asfaltos naturales, incluida la MAPIA, cumplen estas condiciones. [1]

Dentro de las asfaltitas, la gilsonita es quizás la más estudiada en pavimentos. Fue descubierto a principios de la década de 1860 y, en 1888, Samuel H. Gilson y un asociado establecieron la primera empresa para extraerlo y comercializarlo a escala comercial [10] [11]. Es un recurso fósil natural, similar al asfalto derivado del petróleo con un alto contenido de asfaltenos [12] [13]. La gilsonita es conocida por su facilidad de uso, buena afinidad con el asfalto y bajo costo [14] [11] [15] [16]. Las reservas mundiales de gilsonita son de alrededor de 100 millones de toneladas y se encuentran en países como EE. UU., Canadá, Irán, Irak, Rusia, Venezuela, China, Australia, México y Filipinas [17] [18]. Según [19] [20], la rigidez de la gilsonita es unas 50 veces mayor que la del asfalto convencional a temperatura ambiente.

En Colombia, se encuentran formaciones geológicas que contienen mantos de gravas y arenas impregnadas en algún momento de la historia terrestre con crudos de petróleo, que bajo presión intentaron emerger a la superficie, dejando tras de sí yacimientos de mezclas asfálticas naturales. Estas mezclas se considera valiosos materiales pétreos impregnados con asfalto [2].

Por otra parte, Colombia debería encaminar sus proyectos hacia el desarrollo de la infraestructura vial y, especialmente, a mejorar la conectividad de la red principal con las vías secundarias y terciarias que corresponden al 91% del territorio nacional, 22 %, equivalente a 45.137 km a vías secundarias y el 69 % que son 142.284 km que corresponde a vías terciarias. En Colombia el 30,1% de los pavimentos son de tipo flexible, en los cuales su estructura sufre daños constantes y prematuros, debido a condiciones climáticas (temperatura y humedad), al

tránsito y demás factores [9]. Por consiguiente, se busca poner en práctica el uso de otros materiales como la MAPIA, provenientes de fuentes naturales que disminuyan las inversiones con similar comportamiento al de las mezclas asfálticas convencionales [8].

Esta investigación se adentrará en los resultados cuantitativos y cualitativos alcanzados a través de la técnica SEM, proporcionando imágenes que permiten un análisis en profundidad de la estructura y la composición química aproximada de este material. Asimismo, para una siguiente etapa del proyecto realizaran ensayos de petrografía que incluyen una serie de análisis microscópico, químicos y físicos para determinar parámetros fundamentales en cualquier material de construcción, como la durabilidad, calidad, y el diagnóstico de posibles lesiones o daños [3].

Las propiedades físicas y mecánicas de la MAPIA, sometida a diferentes temperaturas, encontrando cómo su comportamiento varía en función de la temperatura de fabricación de briquetas con muestras del material. Para ello, se empleó el ensayo Marshall, según INV E-748-13, con mezclas asfálticas calientes, tibias y semitibias, proporcionando los primeros resultados que fueron la base para el análisis petrográfico detallado.

En este sentido se pretende analizar la MAPIA utilizando técnicas de microscopía SEM (*Scanning electronic Microscopy*) y ensayos petrográficos para comprender en profundidad la composición química, las características y las propiedades de superficie de la MAPIA, identificando los parámetros críticos y condiciones de comportamiento específicos que serán fundamentales en la formulación y diseño de mezclas WMA(120°C) y HWMA (100°C).

A. Asfalto natural

Asfalto natural (asfaltita): Material presente en la naturaleza, impregnado en areniscas, aluviones y calizas. Proviene de la refinación natural del petróleo, que a su vez contiene partículas que se evaporan al contacto con el aire debido a la migración del petróleo a la superficie por medio de rocas porosas y fisuras. [2]. Algunos betunes naturales son la parafina o cera de petróleo (cera sólida pero blanda, blanca o incolora, derivada del petróleo, compuesta de hidrocarburos saturados, y utilizada principalmente para producir velas, abrillantadores, cosméticos y aislantes eléctricos), brea (tiene ciertos contenidos minerales) y asfaltitas como: (i) gilsonita o uintaita (material orgánico negro sólido, procedente de la solidificación del petróleo; residuo de carbono en el rango de 10 a 20% en peso) ; (ii) grahamita o antraxolita (similar

a la gilsonita, es una roca impregnada de betún, que es el resultado de cambios metamórficos en la gilsonita; se diferencia por su alto valor de carbono fijo, 35 a 55%, y un punto de fusión más alto); y iii) breca de mirada o manjak (similar a la gilsonita, pero tiene una gravedad específica y un porcentaje de carbono más altos: 20 a 30% [4].

Las diferencias en la calidad de los NA dependen principalmente de sus fuentes de depósito (diferencias en las composiciones químicas y mineralógicas [5]. Si el NA llega a la superficie del suelo, formas manantiales bituminosos, y si permanece bajo tierra, gradualmente se solidificará y oxidará, formando una sustancia sólida y dura que es el asfalto mineral [6]

B. SEM

La microscopía electrónica de barrido (SEM) se fundamenta al emitir un barrido de haz de electrones sobre la muestra, que interactúan con la misma produciendo diferentes tipos de señales recogidas por detectores. Finalmente, la información obtenida en los detectores es transformada para dar lugar a una imagen de alta definición, con una resolución de 0,4 a 20 nanómetros. Para terminar, se obtiene una imagen de alta resolución de la topografía de la superficie de la muestra. El SEM cuenta con un filamento que genera un haz de electrones que impactan con la muestra. El funcionamiento del SEM consiste en aplicar un voltaje entre una muestra conductora y filamentos, dando como resultado un electrón emisión del filamento a la muestra [7] Con esta información se puede obtener información superficial de forma y topografía, textura y composición (ATRIA Innovation, 2020).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la caracterización a nivel nanométrico con microscopía SEM en una muestra de MAPIA, obtenida directamente de la mina La Milagrosa (Norcasia, Caldas) [8].

Desde la perspectiva de la metodología SEM o MEB permite observar muestras de tamaños que varían desde centímetros hasta nanómetros y usa un haz de electrones para formar una imagen. Tiene una gran profundidad de campo, un mayor poder resolutivo y de amplificación, lo que permite observar rasgos con una alta magnificación, estos equipos cuentan generalmente con una cámara de alta resolución para la toma de imágenes, con lo cual se registran, documentan y analizan las características identificables más sobresalientes [3]. La muestra de MAPIA para darle propiedades conductoras fue recubierta en

oro para obtener imágenes de su estructura, dando un enfoque químico para conocer los componentes que están presentes en la muestra.

Para dar inicio con el análisis petrográfico se realizó un análisis de la MAPIA, según los ensayos realizados por el proveedor, mina la Milagrosa, se clasifica como MAPIA tipo 1B, que según las especificaciones el contenido de asfalto esta alrededor del 10%, partiendo de este valor de referencia se elaboraron dos briquetas para mezclas WMA, HWMA y HMA, falladas de forma diametral en el equipo TBTMWD-2, dependiendo de las temperaturas a las que se elaboraron cada una de las mezclas. Las briquetas restantes serán utilizadas en una siguiente etapa para realizarles un análisis petrográfico completo que proporcione información específica para analizar si este tipo MAPIA puede ser implementada en vías con mayores volúmenes de tránsito.

Por otra parte, el país debería encaminar sus proyectos hacia el desarrollo de la infraestructura vial y, especialmente, a mejorar la conectividad de la red principal con las vías secundarias y terciarias que corresponden al 91% del territorio nacional, 22 %, equivalente a 45.137 km a vías secundarias y el 69 % que son 142.284 km que corresponde a vías terciarias. En Colombia el 30,1% de los pavimentos son de tipo flexible, en los cuales su estructura sufre daños constantes y prematuros, debido a condiciones climáticas (temperatura y humedad), al tránsito y demás factores [9]. Por consiguiente, se busca poner en práctica el uso de otros materiales como la MAPIA, provenientes de fuentes naturales que disminuyan las inversiones con similar comportamiento al de las mezclas asfálticas convencionales [8].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Colombia dada la necesidad de buscar y encontrar materiales y medidas que reduzcan el impacto ambiental negativo se ve la favorabilidad de utilizar el asfalto natural como una alternativa para mejorar algunas propiedades y comportamientos de las mezclas convencionales, aprovechando los yacimientos ya existentes [8].

Estimando la MAPIA como un material natural y así mismo como una alternativa que contribuye a la construcción de capas de rodadura para la infraestructura vial, siendo esta infraestructura centralizada en bajos volúmenes de tránsito; desde aproximadamente 25 años ha sido empleada en la ejecución de obras para proyectos clasificados en niveles de tránsito NT1 (Nivel de Tránsito

No 1. Determinado en vías donde el tránsito de diseño de las obras por construir está por debajo al 0.5×10^6 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño [21], lo que abre paso a la Tabla 1 basado en la vida útil. [2].

EMPRESA	PROYECTO	AÑO
ISAGEN, Municipio de Norcasia - Caldas	Construcción de las obras necesarias para la recuperación en MAPIA de la vía ubicada en Cra 4 calles 8 a 11.	2001
Alcaldía Municipal La Dorada	Asfalto natural para reparcho plaza de mercado y plazoleta Santander.	2001
Unión Temporal vías Colombia	Mantenimiento de la carretera Honda Río Ermitaño.	2003
Alcaldía La Dorada - Caldas	Rehabilitación de la central de abastos calle 21 entre cra. 1 y 2 del municipio de la Dorada.	2004

Tabla 1. Obras ejecutadas con MAPIA.

Fuente: Utilización de asfalto natural en la Construcción de pavimentos en Colombia. Una recopilación bibliográfica (2018).

Ubicación	Tipo de obra	Sector	Proyecto infraestructura
Rural	Vial	Cuche	Mejoramiento de la vía Santa Rosa - Cuche punta larga - Cuche Museo de Arte Religioso con Estabilización de Sub-Base en material de Asfaltita.
Rural	Vial	Quebrada Grande	Mejoramiento de la vía Santa Rosa Quebrada Grande con estabilización de Sub-Base en material de Asfaltita.

Tabla 2. Tramos para mejoramiento con asfalto natural.

Fuente: Manosalva V. Junior A., (2019).

En la figura 1 se presenta el ensayo de resistencia en suelos con el método de CBR, realizado por la mina la miulagrosa en el que se encuentran las mediciones realizadas en el laboratorio y muestran cambios entre la subbase granular SBG y la subbase granular estabilizada con asfalto natural SBMAN.

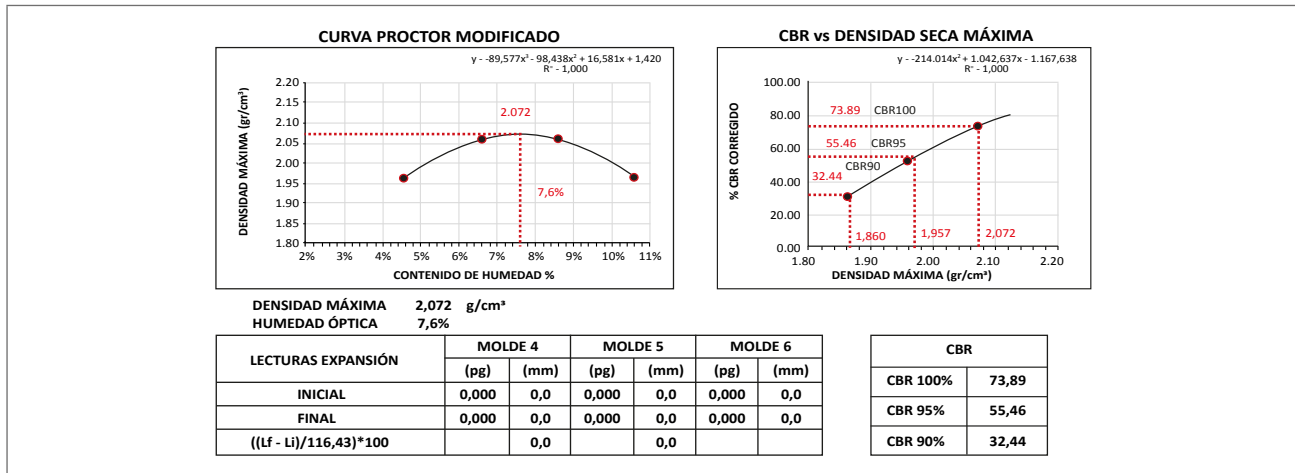


Figura 1. Prueba (Light Weight Deflectometer) LWD Base estabilizada con mezcla asfáltica natural BEMAN. Vía Puente Hierro - Norcasia. Soporte Mezcla densa en caliente.

Fuente: SubBase estabilizada con mezcla asfáltica natural como soporte de mezcla densa en caliente y placa huella (2019). Imagen tomada de: Diapositivas Asociación Colombiana de Asfaltos.

En la tabla 2 se puede evidenciar que en la SBG promedio alcanza valores del 30% en el parámetro de la resistencia con el ensayo CBR y en el caso de la SBMAN se obtiene valores superiores de resistencia con un porcentaje hasta el 75% de CBR.

ENSAYOS	UNIDAD	TIPO DE MATERIAL	
		SBG	SBMAN
Compresión simple	Kg/cm²	1,5	5,6
CBR	%	30	74
Coefficiente estructural a3	-	0,11	0,20

Tabla 3. Mezcla Asfáltica Natural.

Fuente: Base - SubBase estabilizada con mezcla asfáltica natural como soporte de - mezcla densa en caliente y placa huella (2019).

La microscopia SEM base fundamental en el desarrollo de la investigación para encontrar datos cuantitativos o cualitativos de la muestra de un material que se desea estudiar ha hecho parte del desarrollo del tema de investigación actual, con los datos obtenidos vía SEM en la muestra de MAPIA se lograron evidenciar elementos y compuestos químicos que son muy importantes en la línea de investigación, uno de ellos es la Wollastonita es el único mineral no metálico y blanco cuyos cristales presentan forma de aguja, suele ser translúcida o transparente, y algunos ejemplares producen fluorescencia rosada o anaranjada al ser expuestos a la luz ultravioleta. La wollastonita se emplea en productos resistentes al fuego, cerámicas y plásticos [22], el siguiente elemento compuesto encontrado en la muestra es el dióxido de

silicio más conocido por sus siglas SiO_2 , es un compuesto de silicio y oxígeno, llamado comúnmente sílice. Este compuesto ordenado espacialmente en una red tridimensional (cristalizado) forma el cuarzo y todas sus variedades. Si se encuentra en estado amorfo constituye el ópalo, que suele incluir un porcentaje elevado de agua, y el sílex, Los compuestos de sílice se encuentran en todo el medioambiente, en las rocas, la arena, la arcilla, la tierra, el aire y el agua.

Otro elemento químico de gran aporte encontrado en la muestra es el óxido de magnesio MgO es un sólido mineral de color blanco que está formado por un átomo de magnesio y un átomo de oxígeno sus usos aportan como los demás elementos de forma directa al área de la construcción ya que es utilizado en la fabricación de cementos, cables industriales y otros aspectos de esta línea, por consiguiente, la Albita o Albite hace parte de la estructura de la MAPIA este es un mineral conocido dentro de los feldespatos, lo que corresponde a uno de los minerales más abundantes, así mismo este es utilizado para cerámicas también para la constitución de plagioclasas con las que se construye el hormigón, se utiliza como piedra preciosa, aunque semipreciosa. Los geólogos también utilizan la albita, ya que se la identifica como un importante mineral formador de rocas. Hay algún uso industrial del mineral, como la fabricación de vidrio y cerámica.

Aunque la muestra está compuesta de gran variedad de elementos que hacen parte en porcentajes mayores y menores en la estructura todos no tienen el mismo nivel de aplicabilidad en la línea investigativa contiene elementos que no están compuestos precisamente de dos o más elementos uno de ellos es el carbono que es el de mayor porcentaje en la muestra estudiada, otros como el silicio, oxígeno, potasio etc. Son dimensionados y representados por tablas, graficas e imágenes que se encuentran en el siguiente orden:

A continuación se encontrarán imágenes de la muestra después de haber pasado por la microscopía SEM, donde se desglosan los elementos importantes en la composición de la muestra, los cuales se evidencian en las imágenes 2, 3, 4, 5 y 6 distinguiéndose por un color representativo, uniéndose todos en la imagen 7 que contiene todos los resultados de elementos en la misma, cabe resaltar que las imágenes proporcionadas en este documento se relacionan solo con los elementos de mayor importancia o bien, que contengan propiedades que permitan su uso en la infraestructura vial, para la línea de investigación que se desea llevar.

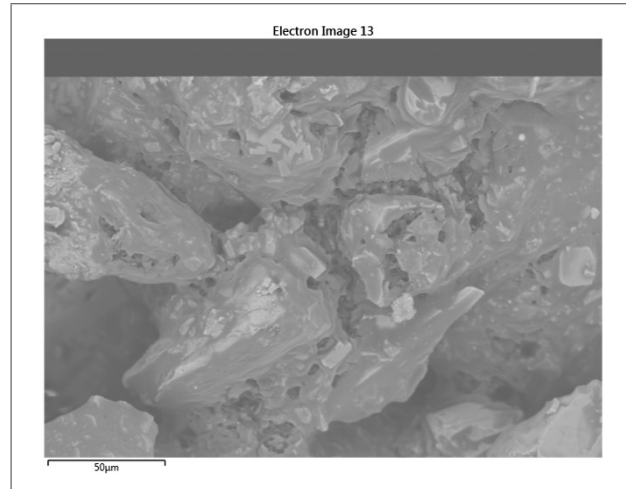


Figura 2. Muestra en SEM.
Fuente: Autoría Propia (2023).

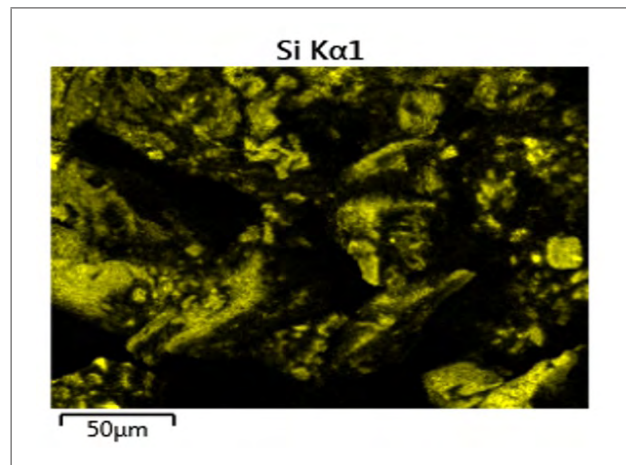


Figura 3. Silicio en la muestra.
Fuente: Autoría Propia (2023).

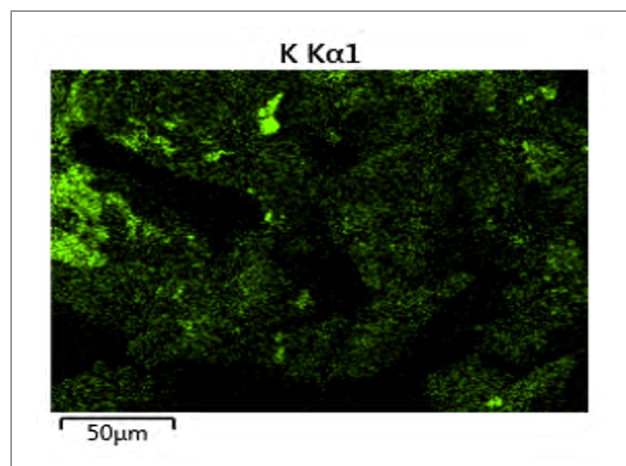


Figura 4. Potasio en la muestra.
Fuente: Autoría Propia (2023).

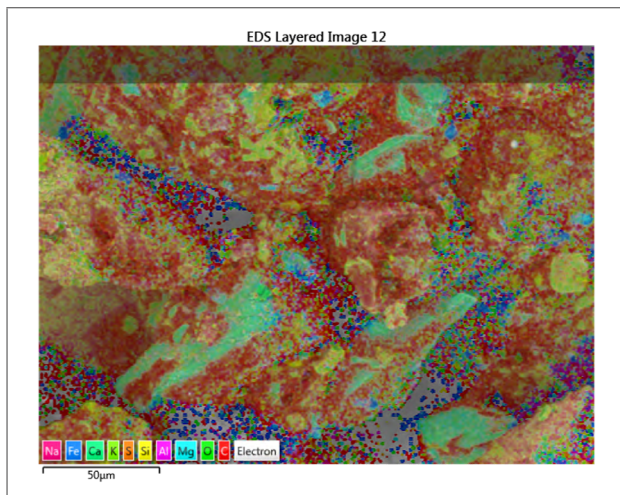


Figura 5. Todos los elementos de la muestra.
 Fuente: Autoría Propia (2023).

En las siguientes tablas se presentan los elementos que componen la muestra en su totalidad resaltando los importantes para la línea de estudio indicando así mismo su porcentaje de concentración en la muestra e información arrojada por el SEM teniendo en cuenta que son tomadas de dos puntos diferentes de la muestra para poder indicar en su totalidad los elementos.

Elemento	Wt %	Standard Label
C	93.56	C Vit
O	5.85	SiO ₂
Na	0.06	Albite
Mg	0.04	MgO
Si	0.18	SiO ₂
K	0.26	KBr
Ca	0.05	Wollastonite
Total:	100.00	

Tabla 4. Elementos compuestos de la muestra.
 Fuente: Autoría Propia (2023).

Elemento	Wt%	Elemento	Wt%
C	77.46	K	0.25
O	14.23	Ca	0.60
Na	0.26	Ti	0.10
Mg	0.33	Mn	0.03
Al	1.54	Fe	1.05
Si	3.59	TOTAL	100.00
S	0.56		

Tabla 5. Elementos de la muestra.
 Fuente: Autoría Propia (2023).

En la siguiente grafica se encuentran los datos recopilados de las tablas anteriores correspondientes a la metodología SEM.

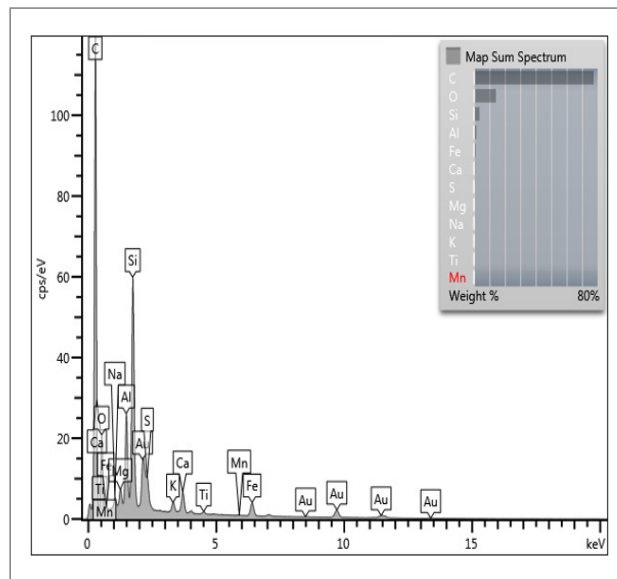


Figura 6. Espectro EDS composición elemental en la muestra de MAPIA.
 Fuente: Autoría Propia (2023).

Para seguir con el avance de la investigación se proyecta realizar un análisis petrográfico por consiguiente para ello se necesitan realizar cierta cantidad de briquetas con parámetros que se han especificado en documentos donde se ha realizado este proceso.

Las briquetas realizadas en laboratorio con el material MAPIA tienen como parámetro principal la temperatura ya que de ella depende si esta se está manejando en estado WMA, HWMA y HMA. El primer proceso fue realizar unas briquetas en caliente adoptando un tipo de MAPIA tipo 1B (Ficha de Seguridad MapiA tipo 1B,2020) compuesta por un material granular fino entre el (87% - 90%) y crudo de petróleo (10%-13%) el bitumen presente posee características que lo asemejan al asfalto 80/100 producido por procesos de refinación del crudo. (ficha de seguridad MapiA tipo 1B) que es asumida como la convencional y una temperatura de 150°C.

En las siguientes imágenes se presenta el procedimiento realizado en laboratorio:



Figura 7. Ensayo Marshall.
 Fuente: Autoría Propia (2023).

Se realizó el laboratorio de ensayo de materiales según el INV E-733/748 (2013) ASTM D-2726/D-1559, conocida como Análisis de vacíos de briquetas y análisis de estabilidad y flujo.

Se realizaron 6 briquetas de las que 3 se tamizaron para observar los cambios en su comportamiento al fallar, igual que los 3 restantes que no se tamizaron, ya que los agregados gruesos en la MAPIA presentaban en un bajo porcentaje en la muestra y el agregado fino estaba muy presente en la misma que las briquetas tamizadas no tenían agregados gruesos y pocos de finos, quedo compuesta solo del asfalto, lo que genero fisuras antes de ser falladas. Por el contrario, las briquetas que no se tamizaron tenían los porcentajes de agregados finos, agregados gruesos y el porcentaje de asfalto óptimo de la cual no se obtuvieron fisuras anteriores al ser falladas.

A. Sin tamizar

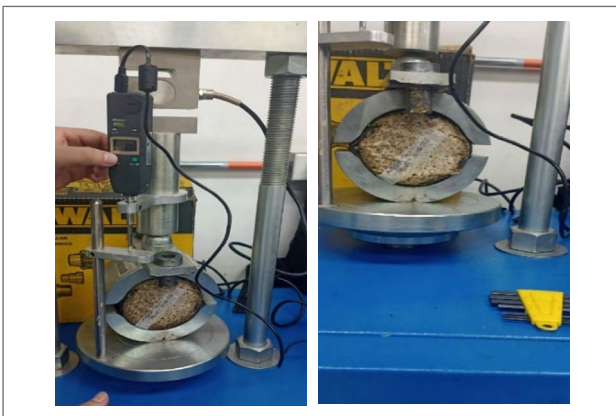


Figura 8. Falla de Briquetas en caliente.
 Fuente: Autoría Propia (2023).

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO					
BRIQUETA No.	2	ESPESOR (mm)	70,500	ASFALTO (%)	0,000
PESO (g)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN % TOTAL	
Seca en aire	0,000	Bulk	0,000	Agregados	0,000
S.S.S. en aire	0,000	Máximo Teórico	0,000	Asfalto	0,000
En agua	0,000			Vacíos	100,000
				Llenos	1,000
ESTABILIDAD					
Medida (kN)	2,95	Actor de corrección	0,862	Corregida (kN)	2,54
				Corregida (kgf)	259,0
Flujo (mm)	7,60	Temperatura (°C)	0,000	Peso específico agregados para diseño (G_{ag})	
		Velocidad del ensayo (mm/min)	Peso específico asfalto (G_{as})		0,000
			Densidad del agua a 25 °C (gw)		0,000

Figura 9. Aspectos Dimensionales del Ensayo sin Tamizar.
 Fuente: Autoría Propia (2023).

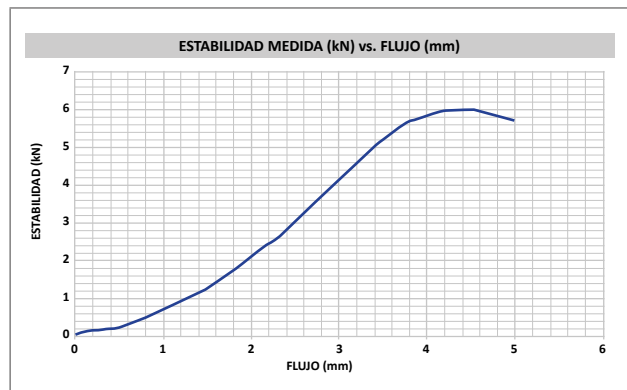


Figura 10. Aspectos Dimensionales del Ensayo sin Tamizar.
 Fuente: Autoría Propia (2023).

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO							
BRIQUETA No.	2	ESPESOR (mm)	66,00	ASFALTO (%)	10,000		
PESO (g)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN % TOTAL		VACÍOS (%)	
Seca en aire	1183,400	Bulk	0,000	Agregados	0,870	Mezcla total	0,000
S.S.S. en aire	1183,940	Máximo Teórico	0,000	Asfalto	0,100	Agregados	100,000
En agua	646,400			Vacíos	100,000	Llenos	1,000
ESTABILIDAD							
Medida (kN)	6,21	Actor de corrección	0,949	Corregida (kN)	5,89	Corregida (kgf)	600,7
Flujo (mm)	4,38	Temperatura (°C)	0,000	Peso específico agregados para diseño (G _{ag})	0,000		
		Velocidad del ensayo (mm/min)		Peso específico asfalto (G _{asf})	0,000		
				Densidad del agua a 25 °C (gw)	0,000		

Figura 11. Aspectos Dimensionales del Ensayo Tamizado.
 Fuente: Autoría Propia. (2023).

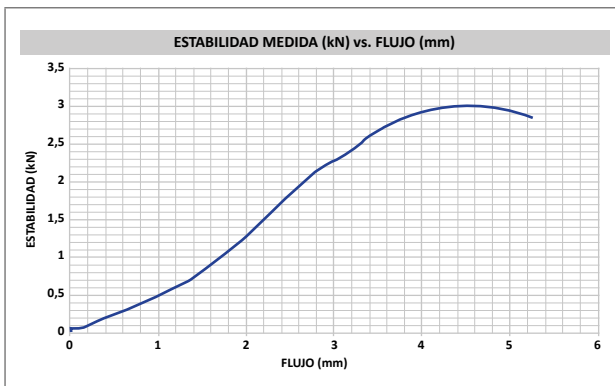


Figura 12. Aspectos Dimensionales del Ensayo Tamizada.
 Fuente: Autoría Propia. (2023).

Para la realización de las briquetas por medio del método de Marshall para unas temperaturas que proporcionen muestras en estado tibio y semitibio se usaron temperaturas que oscilan entre 40°-100°C para mezclas HWMA y 120°-140°C para mezclas WMA.

Las briquetas realizadas con MAPIA se desarrollaron con las siguientes especificaciones:

- Se usó MAPIA tipo 1B con un contenido de asfalto del 10% según la ficha de Seguridad MAPIA Tipo 1B (2020).
- En mezclas HWMA se usó una temperatura de 100°C
- En mezclas WMA se usó una temperatura de 120°C

En las siguientes imágenes se presenta el procedimiento realizado en laboratorio:



Figura 13. Método de Marshall en mezclas tibias y semitibias.
 Fuente: Autoría Propia. (2023)

B. Mezclas en HWMA

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO							
BRIQUETA No.	1	ESPESOR (mm)	66,00	ASFALTO (%)	10,000		
PESO (g)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN % TOTAL		VACÍOS (%)	
Seca en aire	1189,000	Bulk	0,000	Agregados	0,870	Mezcla total	0,000
S.S.S. en aire	1186,970	Máximo Teórico	0,000	Asfalto	0,100	Agregados	100,000
En agua	640,500			Vacíos	100,000	Llenos	1,000
ESTABILIDAD							
Medida (kN)	8,05	Actor de corrección	0,949	Corregida (kN)	7,64	Corregida (kgf)	779,3
Flujo (mm)	4,83	Temperatura (°C)	0,000	Peso específico agregados para diseño (G_{se})			0,000
		Velocidad del ensayo (mm/min)		Peso específico asfalto (G_{sa})			0,000
				Densidad del agua a 25 °C (g/w)			0,000

Figura 14. Aspectos Dimensionales del Ensayo HWMA-Sin Tamizar.
 Fuente: Autoría Propia. (2023).

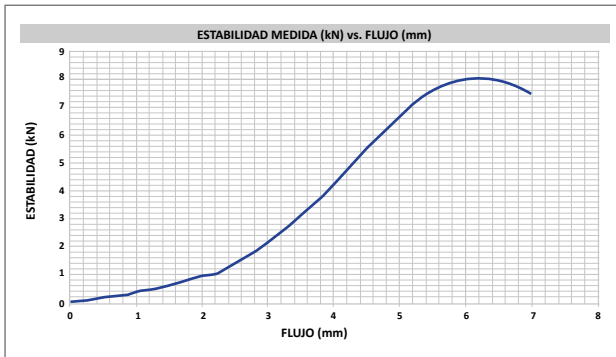


Figura 15. Mezcla HWMA-Sin Tamizar.
 Fuente: Autoría Propia (2023).

C. Mezclas en WMA

ASPECTOS DIMENSIONALES DEL ENSAYO							
BRIQUETA No.	2	ESPESOR (mm)	66,00	ASFALTO (%)	10,000		
PESO (g)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN % TOTAL		VACÍOS (%)	
Seca en aire	1183,400	Bulk	0,000	Agregados	0,870	Mezcla total	0,000
S.S.S. en aire	1183,940	Máximo Teórico	0,000	Asfalto	0,100	Agregados	100,000
En agua	646,400			Vacíos	100,000	Llenos	1,000
ESTABILIDAD							
Medida (kN)	6,21	Actor de corrección	0,949	Corregida (kN)	5,89	Corregida (kgf)	600,7
Flujo (mm)	4,38	Temperatura (°C)	0,000	Peso específico agregados para diseño (G_{se})			0,000
		Velocidad del ensayo (mm/min)		Peso específico asfalto (G_{sa})			0,000
				Densidad del agua a 25 °C (g/w)			0,000

Figura 16. Aspectos Dimensionales - WMA.
 Fuente: Autoría Propia. (2023).

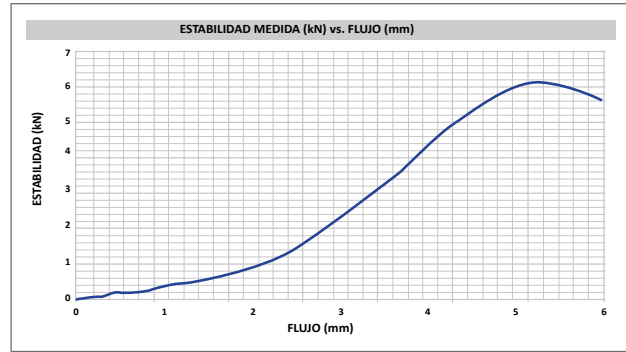


Figura 17. Mezcla WMA-Sin Tamizar.
 Fuente: Autoría Propia. (2023).

IV. ANÁLISIS



Figura 18. Falla de Briquetas HWMA-WMA.
 Fuente: Autoría Propia. (2023).

Las briquetas realizadas en laboratorio tuvieron un proceso de pesaje para ser comparadas según su temperatura y los resultados que arrojaron fueron los siguientes:

Características	HMA	WMA	HWMA
Seca en aire (g)	1188,6	1183,4	1189,8
S.S.S aire (g)	1188,06	1183,94	1186,97
En agua (g)	650,9	646,4	640,5
Temperatura °C	150	120	100

Tabla 6. Características de las Briquetas.

Fuente: Autoría Propia (2023).

Por consiguiente, se evidencia que las briquetas secas en aire presentan cambios mínimos entre la mezcla HMA y WMA se presenta una diferencia en gramos de 5,2g y con respecto a HMA y HWMA se presenta una diferencia en gramos de 1,2g se logra deducir que respecto a las temperaturas manejadas para las briquetas tibias y semitibias las variaciones son mínimas en comparación con la briqueta en HMA la cual es tradicional en el análisis de un material asfáltico. En estado seco superficialmente saturado se presentan al igual que en el parámetro anterior unas diferencias entre las briquetas analizadas para HMA y WMA la diferencia en gramos es de 4,12g y para HMA y HWMA la diferencia en gramos es de 1,2g lo que indica que en este estado la más optima sigue siendo la HWMA la cual no se aleja de las características de una briqueta de MAPIA analizada comúnmente en caliente (HMA). En agua las briquetas analizadas a diferentes temperaturas sufren un cambio respecto a las anteriores ya que la mayor diferencia se presenta con HMA y HWMA estas dos tienen una diferencia de 10,4 gramos.

Se puede evidenciar que los resultados de HWMA son muy parecidos a las briquetas en HMA, lo que da fundamento para seguir estudiando a profundidad la MAPIA. Debido a esto, se puede llegar a utilizar los mismos procesos que se le aplica a la muestra HMA a las briquetas en HWMA enfocado en temas constructivos en el área de vías.

V. CONCLUSIONES

Comprendiendo lo anterior, se abre la posibilidad de considerar la implementación de la MAPIA como alternativa viable al asfalto producido en refinерías, especialmente en vista de las preocupantes emisiones de gases de efecto invernadero GHG (Green House Gases) y otros contaminantes asociados a la refinación del petróleo. La adopción de la MAPIA podría representar un paso importante hacia la reducción de dichas emisiones, contribuyendo así a la preservación del medio ambiente.

Este estudio se enfoca en comprender en detalle el comportamiento de la MAPIA mediante su caracterización y usando la técnica SEM en mezclas WMA y HWMA, para avanzar en la investigación y desarrollo de soluciones que permitan la aplicación efectiva de estas mezclas en vías secundarias y terciarias, para mejorar el desempeño de la infraestructura vial según los componentes específicos identificados.

A pesar de la limitación de datos disponibles, se ha observado que la MAPIA puede ser una alternativa a considerar en pavimentación de infraestructura vial, especialmente en vías con bajos volúmenes de tránsito, teniendo presente que es necesario realizar estudios más detallados y poder corroborar los indicios encontrados.

Así mismo, poder reconocer el comportamiento de las muestras ante las diferentes condiciones de carga, en este caso con el ensayo Marshall, permiten definir contenidos de MAPIA, dependiendo de su elaboración a diferentes temperaturas, que junto con su estudio detallado de condiciones geotécnicas y climáticas, se pueden implementar alternativas eficientes en la fabricación de mezclas asfálticas.

REFERENCIAS

- [1] S. G. T. & A. S. Biro, «Determination of zero shear viscosity of warm asphalt binders,» *Construction and Building Materials*, vol. 5, p. 23, 2009.
- [2] Y. Sánchez, «Utilización de asfalto natural en la construcción de pavimentos en Colombia: una recopilación bibliográfica.,» 2018.
- [3] G. & R. B. N. Beltrán Calvo, *El concreto asfáltico visto bajo el microscopio*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2022.
- [4] J. Kelso y A. G. P. Powell, *Bulletin of the American Schools of Oriental Research*, Chicago: The University of Chicago Press, 1994, pp. 14-18.
- [5] N. & C. N. Nciri, «Laboratory Methods for Identification of Geologic Origins of Natural Asphalts with Special Emphasis on their Potential Uses: The Case of Trinidad Pitch and Utah Bitumen.,» *Conference: International Conference on "Advances in Materials and Manufacturing Applications (IConAMMA 2017)*, (2017)..
- [6] R. Babagoli, M. Hasaninia y N. Namazi, *Laboratory evaluation of the effect of gilsonite on the performance of stone matrix asphalt mixtures*, Road Mater. Pavement Des, 2015, pp. 889-906.

- [7] D. & R. P. Batchellor, «SEM and AFM: complementary techniques for high resolution surface».
- [8] J. S. V. L. A. y. V. C. F. E. Núñez Hernández, «Asfalto natural alternativa de rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura vial del Alto Magdalena Colombia: Revisión Sistemática,» *Centro Sur*, Agosto 2020.
- [9] M. d. Transporte, «<https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/9443/transporte-en-cifras/>,» 19 julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/9443/transporte-en-cifras/>.
- [10] M. Picard, «Searching for Gilsonite when I was young.,» *J. Geosci. Educ.*, vol. 50, p. 471-474, 2002.
- [11] H. Jahanian, G. Shafabakhsh y H. Divandari, «Performance evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) containing bitumen modified with Gilsonite,» *Construction and Building Materials*, vol. 131, pp. 156-164, 30 Enero 2017.
- [12] C. Wong y K. Michael, «The Effect of Gilsonite-Modified Asphalt on Hot Mix Asphaltic Concrete Mixes Used in District 12, Houston,» *Transport research Board*, junio 1990.
- [13] A. Bahrami, F. Kazemi y Y. Ghorbani, «Effect of different reagent regime on the kinetic model and recovery in gilsonite flotation,» *Journal of Materials, Research and Technology*, pp. 1-12, Agosto 2019.
- [14] H. Al Hawesah, M. Sadique, C. Harris, H. Al Nageim, K. Stopp, H. Pearl y A. Shubbar, «A review on improving asphalt pavement service life using gilsonite-modified bitumen,» *Sustainability*, Junio 2021.
- [15] D. Q. Sun, «A study on Xinjiang asphaltite as an asphalt modifier. Part I: Composition, structure, and thermal behavior.,» *Petroleum Science and Technology*, vol. 30, n° 3, pp. 307-315, 2012.
- [16] S. Ren, M. Liang, W. Fan, Y. Zhang, C. Qian, Y. He y J. Shi, «Investigating the effects of SBR on the properties of gilsonite modified asphalt,» *Construction and Building Materials*, vol. 190, pp. 1103-1116, 30 Noviembre 2018.
- [17] A. Bahrami, F. Kazemi, A. Alighardashi, Y. Ghorbani, M. Abdollahi y A. Parvzian, «Isolation and removal of cyanide from tailing dams in gold processing plant using natural bitumen.,» *Journal of Environmental Management*, vol. 262, 15 Mayo 2020.
- [18] F. Kazemi, A. Bahrami y J. Sharif, «Mineral processing plant site selection using integrated fuzzy cognitive map and fuzzy analytical hierarchy process approach: A case study of gilsonite mines in Iran,» *Minerals Engineering*, vol. 147, 01 Marzo 2020.
- [19] B. Huang, G. Li y X. Shu, «Investigation into three-layered HMA mixtures.,» *Composites Part B: Engineering*, pp. 679-690, Diciembre 2006.
- [20] A. Ameli, R. Babagoli, S. Asadi y N. Norouzi, «Investigation of the performance properties of asphalt binders and mixtures modified by crumb rubber and Gilsonite.,» *Construction and Building Materials*, vol. 279, Abril 2021.
- [21] «Norma de construcción Pavimentos Asfáltico,» 2018.
- [22] «rockidentifier,» [En línea]. Available: <https://rockidentifier.com/es/wiki/Wollastonite.html>.