

Physical and mechanical behavior of hot mix asphalt incorporating glass fiber (GF) in northern Peru

Darwin Ear García Jibaja, Bachiller¹, Marco Antonio Cerna Vásquez, Magíster¹

¹Universidad César Vallejo (UCV), Perú. degarciaj@ucvvirtual.edu.pe, mcernav@ucvvirtual.edu.pe

Abstract – This study analyzes the effects of incorporating glass fiber into asphalt mixtures. Two hot asphalt mix designs were considered, with the first design to determine the optimal percentage of asphalt cement PEN 60/70 to be used and the second design to determine an optimal hot asphalt mix with the incorporation of glass fiber in percentages of 3.00%, 4.00%, 5.00% and 6.00%. The sample consisted of 24 specimens that were evaluated through flow, stability, and density tests using the Marshall test. Likewise, the quality of the fine and coarse aggregates was verified through 17 tests, all in compliance with MTC and ASTM regulations. It is concluded that the optimal percentage of asphalt cement PEN 60/70 is 6.50% and presenting stable values within regulatory ranges with the addition of an optimal percentage of glass fiber of 4%. This research is contributing to the sustainable development goal ‘Sustainable Cities and Communications’ (SDG 11), through the design of efficient roads, which would improve the public transport system.

Keywords — Asphalt pavement, fiber/fiberglas, durability, marshall

Comportamiento físico y mecánico de mezclas asfálticas en caliente incorporando fibra de vidrio (FV) en el norte del Perú

Darwin Ear García Jibaja, Bachiller¹, Marco Antonio Cerna Vásquez, Magíster¹

¹Universidad César Vallejo (UCV), Perú. degarciaj@ucvvirtual.edu.pe, mcernav@ucvvirtual.edu.pe

Resumen – Este estudio analiza los efectos de la incorporación de la fibra de vidrio en mezclas asfálticas. Se ha considerado dos diseños de mezcla asfáltica en caliente, siendo el primer diseño para determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico PEN 60/70 a utilizar y el segundo diseño para determinar una mezcla asfáltica en caliente óptima con la incorporación de fibra de vidrio en porcentajes de 3.00%, 4.00%, 5.00% y 6.00%. La muestra estaba formada por 24 especímenes que fueron evaluados mediante los ensayos de flujo, estabilidad y densidad mediante el ensayo de Marshall, así como, se verificó la calidad de los agregados finos y gruesos mediante 17 ensayos, todo ello en cumplimiento de la normativa MTC y ASTM. Se concluye que el porcentaje óptimo de cemento asfáltico PEN 60/70 es 6.50% y presentando valores estables y dentro de los rangos normativos con la adición de porcentaje óptimo de fibra de vidrio de 4%. Esta investigación está contribuyendo con el objetivo de desarrollo sostenible “Ciudades y comunicaciones sostenibles” (OSD 11), mediante el diseño de carreteras eficientes, lo que mejoraría el sistema de transporte público.

Palabras clave – Pavimento asfáltico, fibra de vidrio, durabilidad, marshall

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo, la realización de obras viales ha tenido un incremento muy fuerte paralelo al avance de las sociedades, debido a que esta infraestructura es de carácter primordial para el desarrollo socioeconómico. El cemento asfáltico ha tenido gran demanda en la construcción de carreteras en los últimos años, con ello también el parque automotor a nivel mundial ha tenido un crecimiento exponencial [1], originándose un complejo problema medioambiental debido al inadecuado tratamiento de los residuos industriales [2].

En la actualidad, nos encontramos en tiempos de innovación tecnológica, de las cuales las mezclas asfálticas no son la excepción; estas buscan innovar con nuevos diseños que permitan mejorar los componentes de resistencia de las mezclas asfálticas y así contrarrestar, el tránsito elevado que cada día va en aumento y los variados climas que estamos presenciado en la actualidad.

Existen diversas investigaciones sobre asfaltos modificados con fibra con el objetivo reducir los costos de mantenimiento y prolongar la vida útil del pavimento. En Irán,

se propone el uso de fibras sintéticas de poliolefina-vidrio en mezclas asfálticas, ya que se obtuvo que al añadir 0.18% en la mezcla, se mejora la resistencia a la rodadura y susceptibilidad a la humedad, además que, se alcanza el punto máximo del factor agrietamiento y resistencia a la fatiga con el valor de 0.12% [3].

De igual forma, en el continente asiático, debido a la deformación por ahuellamiento y agrietamiento del pavimento se realizó una investigación considerando contenido de fibra de vidrio y diatomita (DGF) en porcentajes del 0.1% al 0.3% para un diseño de asfalto de tráfico pesado AH-90, de lo cual, se evidencio que DGF no tienen efectos significativos sobre la resistencia a la tracción de la mezcla asfáltica a baja temperatura cuando su contenido es pequeño, pero, si mejoran las propiedades de fatiga; por lo cual, el pavimento construido con DGF tendrá una vida útil más larga que el construido con la mezcla de control [4].

En USA, se utilizó una mezcla asfáltica con tres tipos de fibras (basalto, vidrio y carbono) considerandos 0.15% y 0.30% del peso total, destacando que la tasa de dosificación de fibra del 0,15% del peso total de la mezcla tuvo poco impacto en los requisitos de diseño de la mezcla asfáltica. Sin embargo, al considerar 0,30% requirió un aumento del 0,6% al 0,8% en el contenido de aglutinante para cumplir con los requisitos de diseño de la mezcla dependiendo del tipo de fibra [5].

Por lo descrito, se entiende que los pavimentos diseñados convencionalmente ya no son aptos para soportar los inconvenientes mencionados, por este motivo se vienen presentando nuevos métodos que permitan mejorar los diseños de las mezclas asfálticas, con el objetivo de lograr un pavimento altamente resistente. El objetivo de la presente investigación es determinar el comportamiento físico y mecánico de mezclas asfálticas en caliente (MAC) incorporando fibra de vidrio en diversos porcentajes. Con todo ello, se estará contribuyendo con el objetivo de desarrollo sostenible “Ciudades y comunicaciones sostenibles” (OSD 11), mediante el diseño de carreteras eficientes, lo que mejoraría el sistema de transporte público, al utilizar tecnologías avanzadas de ingeniería, modelado de Información y análisis de datos.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

II. MATERIALES Y METODOS

A. Agregados

Los materiales petreos (agregado fino y grueso) se obtuvieron de la cantera El Milagro, Trujillo, Región de La Libertad. Esta se encuentra ubicada en la Carretera principal Panamericana Norte, Ovalo Huanchaco a 4Km, con coordenadas de 8°5'14"S 79°5'47"W.

B. Fibra de Vidrio

En lo que respecta a la fibra de vidrio fue proporcionado por la empresa JYRMEZE S.A.C y transportados al Laboratorio de Materiales de la Corporación A&J, para ser considerados en el diseño MAC (mezcla asfáltica en caliente). La fibra tiene una longitud de 5cm con un contenido de humedad $\geq 0.20\%$ (ISO 334), con un contenido de aglutinante de 3.7 ± 0.8 (ISO 1887) y un ancho de ± 7 (ISO 5025).



Fig. 1 Fibra de vidrio utilizada en la investigación.

C. Muestra

En la presente investigación se consideró doce (12) briquetas de cemento asfáltico (CA) para la muestra patrón y 12 briquetas de cemento asfáltico para las muestras modificadas de 3%, 4%, 5% y 6% con fibra de vidrio.

D. Normativa y ensayos utilizados

Para dar validez científica, se ha considerado las normas de American Society for Testing and Materials (ASTM) y norma de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

En cuanto a los materiales petreos se realizaron los ensayos de granulometría (MTC E204), durabilidad al sulfato de magnesio (MTC E209), abrasión Los Ángeles (MTC E207), adherencia (MTC E 517), índice de Durabilidad (MTC E214), partículas chatas y alargadas (ASTM 4791), caras fracturadas (MTC E210), sales Solubles Total (MTC E219), absorción (MTC E206), equivalente de arena (MTC E114), angularidad del agregado fino (MTC E222), azul de metileno (AASHTO

TP57) e índice de plasticidad (MTC E111). Finalmente, para el análisis del asfalto mediante el ensayo Marshall (MTC E504) se evaluaron el porcentaje de vacíos, flujo, densidad y estabilidad.

E. Procedimiento

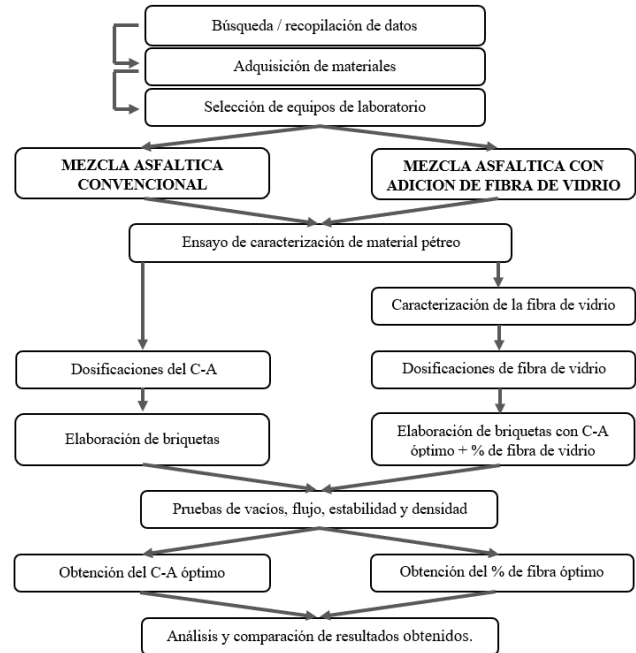


Fig. 2 Procedimiento de la investigación.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Caracterización de agregado fino y grueso

Para tener un agregado adecuado para ser usado en la elaboración de las briquetas de asfalto patrón y modificado, se debe cumplir con los estándares de gradación que exige el reglamento [6] y la norma [7], todo ello se observa en las Fig. 01 y Fig. 02. De igual forma, se evidencio que los agregados seleccionados están dentro de los rangos normativos en los 17 ensayos realizados, como se muestra en la Tabla 01 y Tabla 02. Con estos datos, se puede indicar que el material pétreo es apto para su utilización en el diseño de la mezcla asfáltica. Bajo esas condiciones, los agregados han sido considerados para el ensayo Marshall.

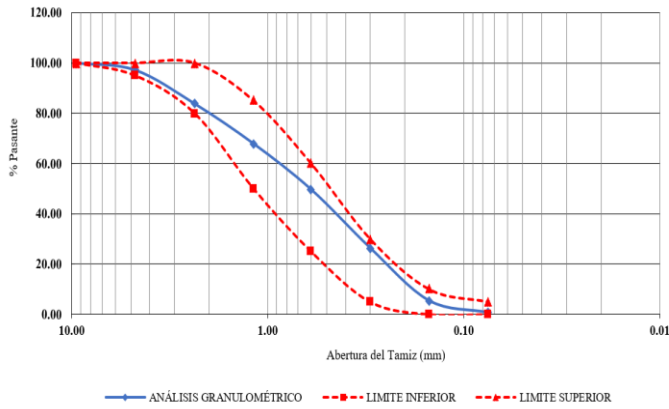


Fig. 3 Curva granulométrica de la arena.

TABLA I
REQUERIMIENTOS NORMATIVOS DE AGREGADO FINO - ARENA

Ensayos	Norma	Requerimiento = > 3.000	Result.
Equivalente de arena	MTC E 114	(+70)	80%
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	(+40)	43.4
Azul de metileno (máx.)	AASHTO TP 57	(8)	3.33
Índice de plasticidad (malla)	MTC E 111	(NP)	(NP)
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	(18 máx.)	1.99%
Índice de durabilidad (min.)	MTC E 214	(35%)	91.90%
Índice de plasticidad (malla)	MTC E 111	(NP)	(NP)
Sales solubles totales (máx.)	MTC E 219	(0.5%)	0.12%
Absorción (máx.)	MTC E 205	(1.5%)	1.4

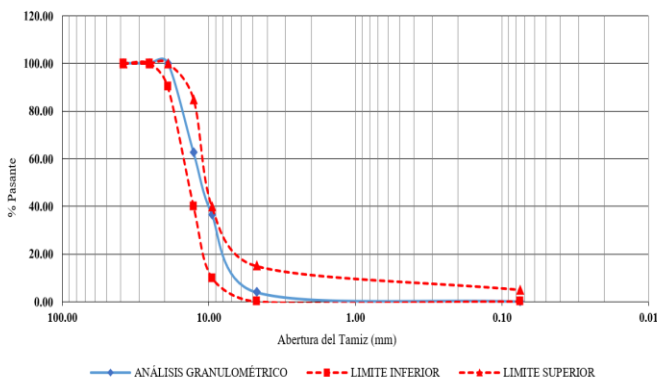


Fig. 4 Curva granulométrica de la piedra.

TABLA II
REQUERIMIENTOS NORMATIVOS DE AGREGADO
GRUESO - PIEDRA

Ensayos	Norma	Requerimiento = > 3.000	Result.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	(18%)	1.99%
Abrasión Los Ángeles (máx.)	MTC E 207	(40%)	28.27%
Adherencia	MTC E 517	(+95)	98
Índice de durabilidad (min.)	MTC E 214	(35%)	93.46%
Partículas chatas y alargadas (máx.)	ASTM 4791	(10%)	9.85
Caras fracturadas 2 (máx.)	MTC E 210	(80/50)	75.05
Sales solubles total (máx.)	MTC E 219	(0.50%)	0.06%
Absorción (máx.)	MTC E 206	(1.50%)	1.41

B. Propiedades de mezcla asfáltica convencional

Respecto al diseño de la mezcla convencional con el método Marshall, se trabajó con 12 briquetas, con porcentajes de 4.5% al 6.0% con incrementos de 0.5, siguiendo los procedimientos exigidos en la Norma [8] – Clase B, todo esto con el objetivo de poder precisar el óptimo contenido de cemento asfáltico. Cabe mencionar que se consideró 50% de piedra triturada y 50% de arena gruesa como materiales. En la Tabla 03 se indica los resultados de las propiedades analizadas.

TABLA III
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA MEZCLA
ASFÁLTICA CON CEMENTO ASFÁLTICO

Numeración	CA en peso de mezcla (%)	Vacíos (%)	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)
MP-C4.5-A	4.5	5.24	1097	1.25
MP-C4.5-B		4.89	1058	1.20
MP-C4.5-C		5.48	1109	1.15
MP-C5.0-A	5.0	3.77	1531	1.32
MP-C5.0-B		3.83	1622	1.50
MP-C5.0-C		3.90	1648	1.28
MP-C5.5-A	5.5	2.39	1579	1.88
MP-C5.5-B		2.45	1544	1.90
MP-C5.5-C		3.13	1570	2.05
MP-C6.0-A	6.0	2.21	1257	2.45

MP-C6.0-B		2.48	1236	2.32
MP-C6.0-C		1.04	1262	2.29

El porcentaje óptimo de cemento asfáltico PEN 60/70 corresponde a 5.0%. En cuanto al factor estabilidad corregido se tiene un valor de 1554 kg (mínimo de 544 kg) y el factor de porcentaje de vacíos corregido es de 3.8 (rango de 3 a 5), que cumplen de manera íntegra las exigencias normativas. Cabe mencionar que, el factor flujo de 1.45mm (7) se encuentra ligeramente por debajo de los rangos establecidos (8 - 16). Es por ello, que con esta data obtenida se realizaron las briquetas modificadas que a continuación se explicaran.

C. Propiedades de mezcla asfáltica modificada con fibra de vidrio (FG)

Las briquetas elaboradas contienen el porcentaje óptimo del cemento asfáltico del diseño convencional (5%), adicionándole las proporciones de fibra de vidrio 3%, 4%, 5% y 6%, y así poder precisar el óptimo contenido de fibra (Fig. 05). Se considero 3 briquetas por cada uno de los porcentajes de fibra de vidrio analizados bajo el estandar de la norma [8]. En la Tabla 04 se indica los resultados de las 03 primeras propiedades analizadas.



Fig. 5 Briquetas de asfalto modificada con fibra de vidrio

TABLA IV
RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA MEZCLA
ASFÁLTICA CON FIBRA DE VIDRIO

Numeración	CA en peso de mezcla (%)	Vacíos (%)	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)
MM-FG3-A	3.0	3.26	1661	1.35
MM-FG3-B		3.48	1622	1.43
MM-FG3-C		2.88	1648	1.34
MM-FG4-A	4.0	5.61	1792	1.26
MM-FG4-B		4.94	1844	1.35
MM-FG4-C		5.23	1827	1.38

MM-FG5-A	5.0	7.23	1579	1.16
MM-FG5-B		7.70	1544	1.20
MM-FG5-C		7.56	1570	1.15
MM-FG6-A	6.0	8.98	1431	1.04
MM-FG6-B		9.21	1453	1.00
MM-FG6-C		9.44	1479	1.04

Teniendo en cuenta los valores obtenidos se puede indicar que, para estabilidad los 4 porcentajes son adecuados y válidos. En cambio, el porcentaje de vacíos para FG5 y FG6 están muy lejanos a los rangos exigidos y bajo el mismo criterio, en cuanto al factor flujo, los 4 porcentajes en estudio, no se acercan a los rangos establecidos por la normativa EG.

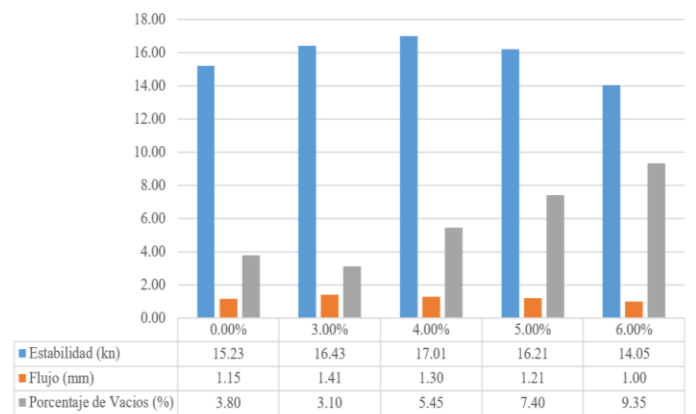


Fig. 6 Comparativo de propiedades de asfalto con diversos porcentajes de fibra de vidrio

En la Fig. 06 se puede evidenciar que, al incluirse mayor cantidad de FG a la mezcla asfáltica el valor de flujo disminuye progresivamente, en cambio los valores de estabilidad comienzan a incrementarse de manera significativa.

D. Comparativas con otras investigaciones

En lo que respecta a la discusión de resultados, según la propiedad de porcentaje de vacíos, en esta investigación al agregar el 3% de adición de fibra de vidrio, se obtuvo un valor de 3.2; siendo esto concordante con lo indicado por [9] que indican que al agregarle 3% de fibra de polímeros se obtuvo un porcentaje de vacíos de 3.9. En lo que respecta a la propiedad de flujo, según el artículo de [10] señalan que al agregarle 6% de fibra de polímeros obtiene un flujo de 3.3 mm (9); en comparación a este trabajo de investigación considerando el mismo porcentaje de adición de fibra (6%) obtenemos un % de flujo de 1 mm (4).

El ensayo de densidad según el artículo de [11] señala que, al agregarle 5% de fibra de desechos de baterías obtiene una densidad de 2.276 gr/cm³, indicando que esta adición es la

óptima; en comparación a este trabajo de investigación con el 5% de adición de fibra de vidrio, obtenemos una densidad de 2.299 gr/cm³ el cual respecto al resultado indicado por los autores se asemeja. En cuanto a la propiedad de estabilidad según el artículo de [3] señala que al agregarle 3% de fibra polipropileno obtiene una estabilidad de 1751.10 kg, logrando aumentar las propiedades físicas y mecánicas, teniendo mejoras a la susceptibilidad, humedad, sensibilidad al envejecimiento y la resistencia al agrietamiento; siendo este trabajo importante para validar la mejora al asfalto, ya que considerando el 3% de adición de fibra obtenemos una estabilidad de 1644.0. En función a lo mencionado en estos dos últimos párrafos, el uso de la fibra de vidrio proporciona una mejora sustancial al asfalto.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la caracterización de los agregados, los resultados cumplieron con los requerimientos normativos del MTC y AASHTO, lo que permite concluir que el material pétreo fue apto. Respecto a la caracterización de la fibra de vidrio, en lo que respuesta al peso, longitud de fibra y contenido de humedad, se tiene el aval de la certificación de la Organización Mundial de Estandarización (ISO 9001).

Se determinó el CA óptimo del diseño convencional, el cual fue de 5%. Este tuvo una mejora del 10% frente a los otros porcentajes de CA estudiados. En cuanto a la adición de la fibra de vidrio se tuvo el mejor comportamiento para la incorporación del 4%, destacándose una mejora de 11.68% en estabilidad y 43.42% en vacíos en comparación con el patrón. Se menciona claramente que los resultados de flujo obtenidos son insatisfactorios para el diseño de asfalto modificado.

Por último, esta investigación está contribuyendo con el objetivo de desarrollo sostenible “Ciudades y comunicaciones sostenibles” (OSD 11), mediante el diseño de carreteras eficientes, lo que mejoraría el sistema de transporte público, al utilizar tecnologías avanzadas de ingeniería, modelado de Información y análisis de datos.

En función a lo indicado, es importante que el Estado Peruano brinde las facilidades para incentivar y/o apoyar este tipo de investigaciones que buscan encontrar mejoras en los asfaltos convencionales, con el objetivo que sean más durables y económicos.

REFERENCIAS

[1] C. Martínez (2021). “Efectos de la adición de aceite usado de motor en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente”. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33093/1/Tesis%20L.%20C.%201489%20-%20Martinez%20Herrera%20Carlos%20Jefferson.pdf>

[2] M. Cerna, P. Plasencia, M. Rodríguez, S. Soto y E. García (2023). “Physical and mechanical behavior of hot mix asphalt mixtures incorporating WEO”. Trujillo. doi:10.18687/LACCEI2023.1.1.1278

[3] H. Ziari y A. Moniri (2019). “Laboratory evaluation of the effect of synthetic Polyolefin-glass fiberson performance properties of hot mix asphalt”. Construction and Building Materials, 213, 459-468. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.084>

[4] Q. Guo, Y. Cheng, Y. Jiao y C. Xu (2015). “Laboratory evaluation on performance of diatomite and glass fiber compound modified asphalt mixture”. Materials and Design, 66(A), 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.10.033>

[5] A. Alfalah, D. Offenbacher, A. Ali, Y. Mehta, M. Elshaer, y C. Decarlo (2021). “Evaluating the impact of fiber type and dosage rate on laboratory performance of Fiber-Reinforced asphalt mixtures”. Construction and Building Materials, 310. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.084>

[6] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016a). “Análisis Granulométrico de agregados gruesos y finos”. Lima.

[7] ASTM International. (2015a). “Método de prueba estándar para análisis de tamiz de agregados finos y gruesos”. West Conshohocken.

[8] Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016b). “Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall”. Lima.

[9] E. Ortiz, L. Macías, y E. Ortiz (2019). “Comparativo de las propiedades de un diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional y el uso de polímeros en la carretera Tosagua”. Universidad, Ciencia y Tecnología, 1(8), 107-114. <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/55>

[10] A. Figueroa, F. Reyes, D. Hernández, C. Jiménez y N. Bohórquez (2020). “Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente”. Ingeniería e Investigación, 27(3), 5-15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327302>

[11] W. Cando, G. Yáñez, P. Castro, S. Constante, L. Fernández, L. y P. Espinoza-Montero (2020). “Modificación de una mezcla asfáltica en caliente mediante procedimiento en seco utilizando desechos especiales (Escoria) provenientes de baterías de automóviles”. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, 43(1), 12-18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=605764200004>

[12] A. Lozano, F. Molina, J. Ruge, L. Moreno, y J. Bastidas (2020). “Asfaltos y mezclas asfálticas densas modificadas con caucho de botas militares”. Dina. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49663642015>