



Uso de etileno vinil acetato (EVA) en mezcla asfáltica: Una revisión literaria

Use of ethylene vinyl acetate (EVA) in asphalt mix: A literary review
Uso do etileno vinil acetato (EVA) na mistura asfáltica: Uma revisão literária

Deysi Liseth Flores Chilón

fchilondeysilis@crece.uss.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-0366-7316>

Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú

Sócrates Pedro Muñoz Pérez

msocrates@crece.uss.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú

Vanessa Araceli López Vallejos

lvallejosvanes@crece.uss.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-6407-8881>

Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú

Ernesto Dante Rodríguez Lafitte

rlafitte@crece.uss.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-2834-5097>

Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú

Artículo recibido el 29 de septiembre 2021, / Aceptado el 28 de octubre 2021 / Publicado el 15 de marzo 2022

RESUMEN

En los últimos años se ha visto afectada la infraestructura vial debido al incremento del tráfico y las variaciones de temperatura, esto ha ocasionado la aparición de surcos y grietas. El presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura sobre el uso de etileno vinil acetato (EVA) en mezclas asfálticas. Se realizó una revisión de 50 artículos científicos indexados entre los años 2015 al 2021, recopilados de distintas de datos obtenidas de Scopus, Scienedirect, ProQuest, IOP Science y Ebsco. Sobre la revisión se encontraron investigaciones de la influencia de EVA en las propiedades del asfalto. Se examinó el proceso de selección de contenido óptimo, los cambios en las propiedades y los resultados obtenidos. Se pudo concluir que la adición de EVA mejora las propiedades, incrementa la estabilidad, disminuye la formación de los surcos y las deformaciones.

Palabras clave: Asfalto; etileno vinil acetato; mezcla asfáltica modificada; pavimento; polímero

ABSTRACT

In recent years the road infrastructure has been affected due to increased traffic and temperature variations, this has caused the appearance of grooves and cracks. The present work aims to carry out a systematic review of the literature on the use of ethylene vinyl acetate (EVA) in asphalt mixtures. A review of 50 scientific articles indexed between the years 2015 to 2021 was carried out, collected from different databases from Scopus, Scienedirect, ProQuest, IOP Science and Ebsco. Investigations of the influence of EVA on the properties of asphalt. The optimal content selection process, the changes in the properties and the results obtained were reviewed. It was concluded that the addition of EVA improves the properties, increases the stability, and reduces the formation of grooves and deformations.

Key words: Student formula; Natural fiber; Horsehair; Vegetable fiber; Cabuya

RESUMO

Nos últimos anos, a infraestrutura rodoviária foi afetada devido ao aumento do tráfego e variações de temperatura, o que causou o aparecimento de sulcos e fissuras. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização do etileno vinil acetato (EVA) em misturas asfálticas. Uma revisão de 50 artigos científicos indexados entre os anos de 2015 a 2021, coletados em diferentes bases de dados obtidos na Scopus, Scienedirect, ProQuest, IOP Science e Ebsco, foi encontrada na revisão. influência do EVA nas propriedades do asfalto. O processo de seleção de conteúdo ideal, as mudanças nas propriedades e os resultados obtidos foram revisados. Concluiu-se que a adição de EVA melhora as propriedades, aumenta a estabilidade e reduz a formação de ranhuras e deformações.

Palavras-chave: Asfalto; acetato de etileno vinil; mistura de asfalto modificado; calçada; polímero

INTRODUCCIÓN

En los últimos años debido al auge del desarrollo económico, los volúmenes de tráfico han aumentado rápidamente, siendo comunes los vehículos más pesados (Li, et al., 2019), y junto con las variaciones climáticas han ocasionado averías en los pavimentos como la aparición de surcos y grietas (Santos, Cerezo, Soudani, y Bressi, 2018; Ahmed, Said, Lu, y Carlsson, 2019). Se considera que la capa es el principal origen de la formación de los surcos, su susceptibilidad también está influenciada por las interacciones de agregado-asfalto y la proporción de vacíos en los agregados minerales (Rahi, Fini, Hajikarimi, y Nejad, 2015). Razón por la cual, las superficies de asfaltos a base solo de betún no pueden proporcionar las propiedades físicas y mecánicas necesarias para su durabilidad (Yadykina, Navolokina, y Gridchin, 2020). Por ello frente a este problema los ingenieros se han centrado en mejorar el rendimiento del asfalto mediante la adición de polímeros (Celauro, Bosurgi, Sollazzo, y Ranieri, 2019).

Para optimizar su rendimiento, por medio de la tecnología se ha modificado el asfalto, inventada con polímeros y otros aditivos que continúan creciendo y se han vuelto más comunes con el paso del tiempo (Adams, Elwardany, Planche, Boysen, y Rovani, 2019). La incorporación de este material en mezclas asfálticas es habitual en varios países y ha ido aumentando de manera constante durante las últimas décadas, siendo su uso una posible solución que tiene la capacidad de ofrecer rendimiento mejorado sobre asfaltos convencionales a altas temperaturas

(Brovelli, Crispino, Pais y Pereira, 2015; Xiao, Li, Amirkhanian y Yuan, 2018). Padhan, Gupta, y Sreeram (2019) exponen que los polímeros se clasifican en dos categorías, elastómero termoplástico y plastómeros, además la existencia en el mercado una amplia variedad de polímeros con características y propiedades únicas, por ejemplo, el etileno vinil acetato (EVA), que es un material plástico, transparente y flexible (Ramírez Hernández, Aguilar Flores, y Aparicio Saguilán, 2019).

Para contrarrestar los efectos adversos que se producen en asfalto se ha previsto elaborar mezclas asfálticas modificadas con polímeros que se utilizan como aditivos, siendo EVA uno de los más utilizados (Hrušková, Horňáček, y Daučík, 2016) para proporcionar rigidez y minimizar la deformación (Joohari y Giustozzi, 2020). EVA se encuentran entre los polímeros que se utilizan como modificadores e investigación del asfalto (Pouranian, Imaninasab, y Shishehbor, 2020) por lo que hasta la fecha. Se han realizado diversos trabajos de investigación para determinar sus efectos en el asfalto, como el expuesto por Liang, et al., (2019) donde demostraron que el asfalto modificado con EVA proporciona resistencia superior a la formación de surcos a altas temperaturas y resistencia al agrietamiento a temperaturas intermedias y bajas.

Así mismo, Yan, Chen, You, y Tian, 2020) manifestaron que se optimizó la resistencia a la deformación y el rendimiento a alta temperatura, pero su recuperación elástica no fue mejorada. Sin embargo, se ha prestado poca atención a la importancia de la selección

de EVA basado en su contenido de acetato de vinilo (VA) (Yuliestyan, Cuadri, García Morales, y Partal, 2018). Es propicio exponer que el comportamiento reológico de un ligante de asfalto está muy relacionado con su viscosidad (Diab, et al., 2020) es por eso que el modificador de polímero reemplaza al asfalto para mejorar la estabilidad térmica y la viscosidad buscando mejorar la adherencia y plasticidad (Zhang, Wu, Luo, y Qin, 2021), pero aún queda trabajo por hacer para correlacionar el comportamiento viscoelástico con su comportamiento morfológico (Singh, Bhupendra; Kumar, Praveen, 2020).

Con estas investigaciones sobre asfalto modificado por EVA en los últimos años, se ha demostrado que esta combinación es estable en el rendimiento a alta temperatura y en diferentes parámetros del proceso

de preparación también afectan a sus propiedades. Por lo anterior, el presente artículo tuvo como propósito revisar las últimas investigaciones referente al uso de EVA en el asfalto.

MÉTODO

Se han revisado 50 artículos indexados de diversas bases de datos, de las cuales 44 fueron obtenidas de Scopus, 1 de Science Direct, 2 de Proquest, 1 de IOP y 2 de Ebsco, con un rango de búsqueda entre los años 2015 al 2021. Se buscó con las palabras clave: asphalt with ethylene vinyl acetate, asphalt with EVA y polymer EVA. Para un mayor detalle en la Tabla 1 se muestra los artículos distribuidos por base de datos y año de publicación; y en la Tabla 2 se muestra los filtros con los que se ha trabajado y los resultados de búsqueda.

Tabla 1. Distribución de los artículos según base de datos y año de publicación

Base de datos	Año de publicación							Total
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Scopus	3	3	5	6	9	13	4	44
ScienceDirect		1						1
ProQuest					1		1	2
IOP Science					1			1
Ebsco	1		1		1			2
Total	4	4	6	6	12	13	5	50

Tabla 2. Método de búsqueda de artículos.

Base de datos	Años de búsqueda	Palabras clave	Resultado de búsqueda	Filtro de aplicación	Resultado después del filtro	Artículos seleccionados
Scopus	2015-2021	asphalt with ethylene vinyl acetate	65	Engineering / Environmental Science / Chemical Engineering	55	31
		asphalt with EVA	72	Engineering	52	8
		polymer EVA	833	Engineering	301	5
Science Direct	2015-2021	asphalt with ethylene vinyl acetate	495	Engineering / Research articles	153	1
ProQuest	2015-2021	asphalt with EVA	1889	Revistas científicas/ OR Ponencias y actas/ Polymers/ OR asphalt pavements/OR asphalt	147	2
IOP Science	The last 5 years	asphalt with ethylene vinyl acetate	6	-	-	1
Ebsco	2015-2021	asphalt with EVA	19	-	-	2

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Polímero EVA

El copolímero semicristalino EVA, es un plastómero que se utiliza con mucha frecuencia en pavimentos, y que provoca cambios en el estado físico, químico y propiedades morfológicas del aglutinante asfáltico (Mansourian, Goahri, y Khosrowshahi, 2019). Es capaz de formar una red resistente a la deformación dentro del betún mejorando

así la elasticidad, propiedades de cohesión y adherencia (Ayupov, Khakimullin, y Kazakulov, 2020). EVA consta de 5% a 50% en peso de VA, los grupos de acetato en la cadena de etileno disminuyen la cristalinidad del copolímero cuyas propiedades son controladas por la cantidad de VA en la estructura (Alatas y Yilmaz, 2017). Se buscó optimizar el parámetro de estructura de la molécula (contenido de VA) en copolímero EVA para la modificación del asfalto, con varias clasificaciones de VA en

12, 18, 25, 32 y 40% de peso. Como resultado, el contenido moderado de VA es de 18%, para adquirir el rendimiento ideal en alta y baja temperatura, y para equilibrar las propiedades viscoelásticas y la estabilidad (Liang, et al.,

2017). Así también, otros investigadores utilizan diversos porcentajes de contenido de VA en EVA para modificar el asfalto, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de VA en EVA.

% de VA en EVA	Referencia
18%	Kunanusont, Sangpetngam, y Somwangthanaroj (2021)
28%	Zakieva, et al. (2015)
33%	Xiao, Liu, Zhang, y Wan (2018)

Porcentaje óptimo de EVA

Al mezclar polímeros con asfalto, el polímero comienza a emulsionarse y luego se hincha parcial o completamente hasta disolverse en el asfalto, este proceso depende del contenido de polímero y su composición química; por ello los aditivos poliméricos se agregan generalmente en concentraciones entre el 2 y el 6% del peso del aglutinante asfáltico (Diab, Aboelkasim; You, Zhanping, 2017).

Evaluación de las propiedades

Al incorporar EVA en porcentaje de 3 y 5% en peso al aglutinante base PG 58-28 se mejora la resistencia al agrietamiento a baja temperatura, aumenta la capacidad de sostener deformaciones altas y es excelente para mitigar la formación de surcos (Diab, et al., 2020). En la investigación realizada por Siddig, Feng, y Ming (2018) exponen que EVA en concentraciones de 1, 3, 5 y 7% en peso añadida al asfalto AH-70, es sometida a pruebas convencionales y de reómetro de cizallamiento dinámico, los resultados muestran que EVA logra mejorar

las propiedades de los aglutinantes. Así la formación de surcos disminuye, indicando un mejor rendimiento a altas temperaturas.

Sin embargo, Yan, Hong, You, Ou, y Miljkovic (2021) experimentaron al mezclar betún SK-70 + 4% de polietileno de baja densidad con EVA en adiciones de 2, 4, 6 y 8% del peso del asfalto; aumenta la viscosidad, el módulo de cizallamiento complejo y la elasticidad del betún, y mejora el comportamiento a altas temperaturas. La estabilidad de almacenamiento y la segregación de fases fueron positivamente afectadas en una medida notable. En un estudio sobre el asfalto pen 35/50 más 5% de EVA en peso del asfalto, mezclado a 600 rpm durante 1 hora a 180 °C de los investigadores Costa, Silva, Peralta, y Oliveira (2019).

Lograron una viscosidad más baja a altas temperaturas, por lo que mejora la trabajabilidad durante las fases de mezclado y compactación, y presenta una mejora en la estabilidad del almacenamiento a altas temperaturas debido a su dispersión homogénea.

Otra experiencia interesante fue la combinación de EVA en concentraciones de 4, 5, 6, y 7% en peso con asfalto pen 60/70 tras realizar ensayos con reómetro de cizallamiento dinámico, los resultados demostraron que la viscosidad incrementó de 0.411 Pa.s a 1.0986 Pa.s para un contenido de 7% de EVA. El parámetro de formación de surcos y el módulo de corte complejo aumentaron después de la modificación, indicando un excelente comportamiento del asfalto (Eldouma y Xiaoming, 2021). Así como la realizado por Fakhri y Kianfar (2021) donde el betún más 6% de EVA en peso es sometido a la prueba de reómetro de haz de flexión (BBR) a bajas temperaturas de -6, -12 y -18°C dando como resultado la mejora de la relación de energía de disipación a bajas temperaturas de -6 y -12°C y la mejora del comportamiento viscoelástico.

Aunado a lo anterior, Yuliestyan, Cuadri, García Morales, y Partal (2016) mezclaron asfalto pen 70/100 y 160/220 con EVA (utilizaron VA en concentraciones de 7, 18, 28 y 33% de peso) en porcentajes de 5 y 7,5% de peso de asfalto y compararla con mezcla convencional da como resultado que EVA con contenidos de VA más bajos de 7 y 18% de peso, produce una mayor viscosidad a 60 °C, y una mejor elasticidad y susceptibilidad térmica en temperaturas de servicio medias a altas, en comparación de mezclas no modificadas. En cambio, cuando se experimentó con el asfalto pen 85/100 con polietileno de baja densidad más EVA en 3, 6 y 9% del peso del asfalto mejora la resistencia a la deformación permanente a temperaturas moderadas de

30°C y altas temperaturas de 60°C. Los efectos adversos disminuyeron a medida que el contenido de aditivo aumentó a pesar de que la deformación final fue mayor que la mezcla de sin modificar (Brovelli, Crispino, Pais, y Pereira, 2015).

En este estudio realizado por Saboo, Kumar, Kumar, y Gupta (2018) observaron resultados positivos cuando el asfalto VG-10 modificado con EVA en 3% de su peso, mostró un buen rendimiento a altas temperaturas de 60°C con valores de fluencia no recuperable bajos de 0.000 KPa^{-1} , 0.032 KPa^{-1} , 0.069 KPa^{-1} y 0.0210 KPa^{-1} , para presiones de 0.1 KPa, 3.2 KPa, 5 KPa y 10 Kpa respectivamente; pero presenta gran deformación susceptible a temperaturas intermedias. Efactor similares, pero en este caso con los surcos, el asfalto pen 50/70 clasificado como PG 64 con 8.7% de EVA en peso, mejora la resistencia a la formación de surcos en comparación con el asfalto no modificado y los cumplimientos de fluencia no recuperables disminuyeron a 3,2 kPa (Domingos, Faxina, y Bernucci, 2019).

Sin embargo, esta la experiencia de González, Costa, Silva, y Hilliou (2016) donde experimentaron con el asfalto pen 70/100 más 5% de EVA en peso mezclado a 7200 rpm y 160–165°C durante 20 min pudieron observar que es menos propenso a cambios microestructurales inducidos y es poco afectado por deformación por cizallamiento. En contraste con el estudio anterior, Diab (2017) se encuentra la investigación sobre el asfalto pen 60/70 con incorporación de EVA y polipropileno en 3 y 6% de peso, preparada a 180 °C con 2000 rpm que durante 2 horas da como resultado que

la tracción indirecta es mayor para la mezcla de asfalto modificado con polímeros que una mezcla sin modificar, así también la relación de resistencia a la tracción (TSR) pasa del 85% y la temperatura de mezcla y compactación afectan aleatoriamente a TSR.

Ahora bien, para evaluar el efecto del tiempo de preparación Yu, Liu, Zhang, Zhu, y Fang (2017) procesaron el asfalto 90A con 2% de EVA más 4% de caucho por peso del asfalto, estos fueron mezclados a 170 °C durante 10 min es cizallado a 3000 rpm durante 5 a 90 min. En el proceso de hinchamiento, el modificador de polímero disperso estabilizado se hincha completamente en la matriz de asfalto y se

atraen entre sí para formar una estructura de red entrecruzada, y las propiedades del asfalto modificado se lograron estabilizar. Por último, el estudio sobre el asfalto pen 80/100 con incorporación de EVA en 2, 4, 6, y 8% del peso del asfalto, mezclado a 5000 rpm a 170 °C durante 60 min presenta mayor viscosidad, mejor estabilidad térmica y mejor tracción de fuerza, debido a la reticulación física de las formas de EVA en el asfalto (Liu, et al., 2017).

En la siguiente Tabla 4 se observa el resumen de varias investigaciones sobre el efecto de EVA en el asfalto, la metodología empleada, resultados y contenido óptimo.

Tabla 4. Resultados de la investigación sobre EVA para la modificación de asfalto.

Base	Porcentaje de EVA por peso de asfalto	Resultados	Referencias
Asfalto pen 60/80	2, 4 y 6%	<ul style="list-style-type: none"> • Mezclado a 170 ± 5 °C con cizalla de alta velocidad de 3000 rpm durante 30 min. • Disminuyó el índice de envejecimiento y el cumplimiento de fluencia irrecuperable mientras aumentaba el punto de ablandamiento, elástico recuperación, módulo complejo y tasas de recuperación. • Mejoraron las propiedades de alta temperatura del asfalto. • Contenido óptimo de EVA: 2% al 4% del peso del asfalto base. 	Yan, Tian, Chen, y Liu (2020)
Asfalto pen 60/70	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 y 4%	<ul style="list-style-type: none"> • Método de frío-calor. La mezcla se realizó a una temperatura media a alta hasta que alcanza 250 ° C, durante 15 min. • Mejoró la ductilidad, puntos de ablandamiento, punto de inflamación, punto de combustión, fijación de agregados sobre asfalto y peso las pruebas de pérdida. • Aumentó el índice de penetración y la rigidez del betún. • Contenido óptimo de EVA: 3.5% del peso del asfalto base. 	Setyawan, Sistra, Sarwono, Djumari, y Zulfadly (2019)

Base	Porcentaje de EVA por peso de asfalto	Resultados	Referencias
Asfalto PAC 50/70	2, 3, 4 y 5%	<ul style="list-style-type: none"> Mezclado a 160 °C con 544 rpm durante 2h. Aumento de la resistencia a la tracción para 3 al 6% de EVA durante 2 y 3 h de envejecimiento. Contenido óptimo de EVA: 2% del peso del asfalto base 	Alves Gama, De F. L. Lucena, Monteiro, Paiva, y De Souza (2015)
Betún	1, 3, 5 y 10%	<ul style="list-style-type: none"> Mezclado a 150 °C durante 30min a 60min. Mejora de las propiedades a baja temperatura, aumenta el rango de temperatura de plasticidad, resistencia, dureza y resistencia al agrietamiento. Contenido óptimo de EVA: 4% del peso del asfalto base. 	Ivanova, Kutlizamaev, Popkov y Tajik, (2020)
Betún PG-64-22	3, 4 y 5%	<ul style="list-style-type: none"> Mezclado a 180 °C con 125 rpm durante 2h. Mejora las propiedades del betún puro y el rendimiento frente a la temperatura y el número de ciclos de carga tolerables hasta el momento de falla en dinámica de fluencia. Contenido óptimo de EVA: 4% del peso del asfalto base 	Mohsen y Mirian (2020)
Asfalto VG-10	2, 3, 4, 5 y 6%	<ul style="list-style-type: none"> Mezclado a 190 °C con 600 rpm durante 1h. Resistencia mejorada al envejecimiento, al ver resistir la formación de compuestos de carbonilo y sulfóxido. Resiste la degradación térmica usando recipiente de envejecimiento a presión (PAV). Contenido óptimo de EVA: 5% del peso del asfalto base. 	Singh, Bhupendra; Kumar y Praveen (2019)
Asfalto + 15% WTR	2, 4 y 6%	<ul style="list-style-type: none"> El asfalto fue calentado a 165°C a 3000 rpm por 20 min. Tuvo un buen desempeño a la resistencia al envejecimiento y reduce la sensibilidad al envejecimiento de diferentes parámetros, sobre todo a alta temperatura. Contenido óptimo de EVA: 4% del peso del asfalto base. 	Chen, Yan, y You (2020)
Betún puro	3, 5 y 7%	<ul style="list-style-type: none"> Mezclado a 160 °C con 5000 rpm durante 30 min. El incremento del 3-5% de EVA aumenta la estabilidad Marshall debido al aumento de la viscosidad del betún y aumenta el módulo de resiliencia a 4890 MPa. Contenido óptimo de EVA: 5% del peso del asfalto base. 	Janmohammadi, Safa, Zarei, y Zarei (2020)

Base	Porcentaje de EVA por peso de asfalto	Resultados	Referencias
Asfalto VG-10	2 al 6%	<ul style="list-style-type: none"> Resistió la degradación en alta temperatura y presión. Mejora la complejidad termorreológica de los aglutinantes de base. Contenido óptimo de EVA: 5% del peso del asfalto base. 	Singh, Bhupendra; Kumar, Praveen (2020)
Betún VG-30	3, 5 y 7%	<ul style="list-style-type: none"> Aumentó la resistencia a la formación de surcos y a la deformación. Contenido óptimo de EVA: 3% para áridos calcáreos / 5% para áridos silíceos. 	Singh, Kumar, y Anupam (2016)

CONCLUSIÓN

Debido a la formación de surcos y agrietamientos en el pavimento; los aglutinantes asfálticos se encuentran proclives al envejecimiento, ocasionando su deterioro. Además, la carga del tráfico y el clima conllevan a la rotura del pavimento haciendo que disminuye su vida útil. Estas fallas están relacionadas con el aglutinante asfáltico y pueden ser controladas modificando las mezclas con polímeros.

Los polímeros tienen la capacidad de mejorar las propiedades de asfalto a elevadas y bajas temperaturas asegurando de esta manera la vida útil de las carreteras. En este sentido la mayoría de los estudios está enfocado en determinar la dosis óptima de polímero EVA en mezclas asfálticas, que es aproximadamente 3 al 5% por peso de asfalto, a si también el porcentaje óptimo de contenido de VA en EVA que es el 18% del peso de EVA.

Los estudios de estos últimos años han demostrado que la incorporación de un

porcentaje óptimo de EVA en el asfalto es estable en el rendimiento de altas y bajas temperatura y afecta favorablemente a sus propiedades, incrementa la estabilidad, y aumenta la resistencia a la formación de surcos y a la deformación. Esto alarga la vida útil de los pavimentos, por lo que resulta más económico la construcción de carreteras con polímeros.

REFERENCIAS

- Adams, J., Elwardany, M., Planche, J.-P., Boysen, R., y Rovani, J. (2019). Diagnostic Techniques for Various Asphalt Refining and Modification Methods. *Energy and Fuels*, 33(4), 2680-2698. doi:10.1021/acs.energyfuels.8b03738
- Ahmed, A., Said, S., Lu, X., y Carlsson, H. (2019). Pavement performance follow-up and evaluation of polymer-modified test sections. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(12), 1474-1487. doi:10.1080/10298436.2018.1435878
- Alatas, T., y Yilmaz, M. (2017). Low temperature properties of hot mix asphalts prepared with different polymer modified binders.

- Gradjevinar, 69(2), 93-104. doi:10.14256/JCE.1517.2015
- Alves Gama, D., De F. L. Lucena, A., Monteiro, V., Paiva, W., y De Souza, L. (2015). Verification of the Effect of EVA's Residues Addition and the Aging in Mechanical Properties of Asphalt Mixtures. *Petroleum Science and Technology*, 33(8), 936-942. doi:10.1080/10916466.2015.1031348
- Ayupov, D., Khakimullin, Y., y Kazakulov, R. (2020). Bitumen chemical modification by a thermoplastic polymer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 890, págs. 1615-1623. Kazán, Rusia. doi:10.1080/14680629.2018.1467335
- Brovelli, C., Crispino, M., Pais, J., y Pereira, P. (2015). Using polymers to improve the rutting resistance of asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 77, 117-123. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.12.060
- Celauro, C., Bosurgi, G., Sollazzo, G., y Ranieri, M. (2019). Laboratory and in-situ tests for estimating improvements in asphalt concrete with the addition of an LDPE and EVA polymeric compound. *Construction and Building Materials*, 196, 714-726. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.11.152
- Chen, J., Yan, K., y You, L. (2020). Rheological and Spectroscopic Properties of Ethylene Vinyl Acetate-Modified Rubberized Asphalt. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(6). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003187
- Costa, L., Silva, H., Peralta, J., y Oliveira, J. (2019). Using waste polymers as a reliable alternative for asphalt binder modification – Performance and morphological assessment. *Construction and Building Materials*, 198, 237-244. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.11.279
- Diab, Aboelkasim. (2017). Studying Viscosity of Asphalt Binders and Effect of Varied Production Temperatures on Engineering Properties of HMA Mixtures. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(1), 1-9. doi:10.1139/cjce-2016-0383
- Diab, Aboelkasim; You, Zhanping. (2017). Small and large strain rheological characterizations of polymer- and crumb rubber-modified asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 144, 168-177. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.03.175
- Diab, A., You, Z., Adhikari, S., You, L., Li, X., y El-Shafie, M. (2020). Investigating the mechanisms of rubber, styrene-butadiene-styrene and ethylene-vinyl acetate in asphalt binder based on rheological and distress-related tests. *Construction and Building Materials*, 262. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120744
- Diab, A., You, Z., Li, X., Pais, J., Yang, X., y Chen, S. (2020). Rheological models for non-newtonian viscosity of modified asphalt binders and mastics. *Egyptian Journal of Petroleum*, 29(2), 105-112. doi:10.1016/j.ejpe.2019.12.002
- Domingos, M., Faxina, A., y Bernucci, L. (2019). Rutting behavior and rheological modeling of EVA-modified binders in the mixture and binder scale. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 52(2). doi:10.1617/s11527-019-1335-z
- Eldouma, I., y Xiaoming, H. (2021). Evaluation of the Additives' Behaviour to Determine the Best Modifier for Improving Asphalt Performance at High Temperature. *Advances in Civil Engineering*, 2021. doi:10.1155/2021/8879415
- Fakhri, M., y Kianfar, A. (2021). Comparison of BBR results of EVA polymer and nano-CaCO₃-modified bitumen using burger model, relaxation modulus, dissipation energy ratio, ANOVA, and artificial neural networks. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 14(1), 85-97. doi:10.1007/s42947-020-0006-3
- González, E., Costa, L., Silva, H., y Hilliou, L. (2016). Rheological characterization of EVA and HDPE polymer modified bitumens under large deformation at 20 °C. *Construction and Building Materials*, 112, 756-764. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.02.192

- Hrušková, L., Horňáček, M., y Daučík, P. (2016). Comparison of changes of basic parameters of asphalt caused by various additives. *Chemical Papers*, 70(3), i-viii. doi:10.1515/chempap-2016-0010
- Ivanova, I., Kutlizamaev, R., Popkov, A., y Tajik, A. (2020). Using of ethylene-vinyl acetate copolymer for manufacture of road surfaces. *OP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Kazán, Rusia. doi:10.1088/1755-1315/516/1/012048
- Janmohammadi, O., Safa, E., Zarei, M., y Zarei, A. (2020). Simultaneous effects of ethyl vinyl acetate (EVA) and glass fiber on the properties of the hot mix asphalt (HMA). *SN Applied Sciences*, 2(7). doi:10.1007/s42452-020-2977-8
- Joohari, I., y Giustozzi, F. (2020). Chemical and high-temperature rheological properties of recycled plastics-polymer modified hybrid bitumen. *Journal of Cleaner Production*, 276, 376-392. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123064
- Kunanusont, N., Sangpetngam, B., y Somwangthanaroj, A. (2021). Asphalt Incorporation with Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Copolymer and Natural Rubber (NR) Thermoplastic Vulcanizates (TPVs): Effects of TPV Gel Content on Physical and Rheological Properties. *Polymers*, 13(9). doi:10.3390/polym13091397
- Li, J., Duan, S., Muhammad, Y., Liu, Y., Hou, D., Yang, S., . . . Meng, Y. (2019). Synthesis and Performance Evaluation of Modified Asphalt-Based Trackless Tack Coat Material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(9). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002812
- Liang, M., Ren, S., Fan, W., Xin, X., Shi, J., y Luo, H. (2017). Rheological property and stability of polymer modified asphalt: Effect of various vinyl-acetate structures in EVA copolymers. *Construction and Building Materials*, 137, 367-380. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.01.123
- Liang, M., Xin, X., Fan, W., Wang, H., Jiang, H., Zhang, J., y Yao, Z. (2019). Experimental and Simulation Study of Phase Microstructure and Storage Stability of Asphalt Modified with Ethylene-Vinyl Acetate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(12). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002931
- Liu, Y., Zhang, J., Chen, R., Cai, J., Xi, Z., y Xie, H. (2017). Ethylene vinyl acetate copolymer modified epoxy asphalt binders: Phase separation evolution and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 137, 55 - 65. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.01.081
- Mansourian, A., Goahri, A., y Khosrowshahi, F. (2019). Performance evaluation of asphalt binder modified with EVA/HDPE/nanoclay based on linear and non-linear viscoelastic behaviors. *Construction and Building Materials*, 208, 554-563. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.03.065
- Mohsen, A., y Mirian, V. (2020). Evaluation of glass fibres, ethylene vinyl acetate and their combination on stone mastic asphalt. *Australian Journal of Civil Engineering*. doi:10.1080/14488353.2020.1835143
- Padhan, R., Gupta, A., y Sreeram, A. (2019). Effect of cross-linking agent on ethylene vinyl acetate/polyoctenamer modified bitumen. *Road Materials and Pavement Design*, 20(7), 1615-1623. doi:10.1080/14680629.2018.1467335
- Pouranian, M., Imaninasab, R., y Shishehbor, M. (2020). The effect of temperature and stress level on the rutting performance of modified stone matrix asphalt. *Road Materials and Pavement Design*, 21(5), 1386-1398. doi:10.1080/14680629.2018.1546221
- Rahi, M., Fini, E., Hajikarimi, P., y Nejad, F. (2015). Rutting Characteristics of Styrene-Ethylene/Propylene-Styrene Polymer Modified Asphalt. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(4). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001102

- Ramírez Hernández, A., Aguilar Flores, C., y Aparicio Saguilán, A. (2019). Fingerprint analysis of FTIR spectra of polymers containing vinyl acetate. *DYNA (Colombia)*, 86(209), 198-205. doi:10.15446/dyna.v86n209.77513
- Saboo, N., Kumar, R., Kumar, P., y Gupta, A. (2018). Ranking the Rheological Response of SBS- and EVA-Modified Bitumen Using MSCR and LAS Tests. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(8). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002367
- Santos, J., Cerezo, V., Soudani, K., y Bressi, S. (2018). A comparative life cycle assessment of hot mixes asphalt containing bituminous binder modified with waste and virgin polymers. 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference. Pisa, Italia. doi:10.1016/j.procir.2017.11.046
- Setyawan, A., Sistra, M., Sarwono, D., Djumari, y Zulfadly. (2019). The Physical and Mechanical Properties of Ethylene Vinyl Acetate Modified Binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 578. Solo, Indonesia. doi:10.1088/1757-899X/578/1/012080
- Siddig, E., Feng, C., y Ming, L. (2018). Effects of ethylene vinyl acetate and nanoclay addition on high-temperature performance of asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 169, 276-282. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.03.012
- Singh, M., Kumar, P., y Anupam, A. (2016). Effect of type of aggregate on permanent deformation of bituminous concrete mixes. *Road Materials and Pavement Design*, 17(2), 417-433. doi:10.1080/14680629.2015.1091374
- Singh, Bhupendra; Kumar, Praveen. (2019). Effect of polymer modification on the ageing properties of asphalt binders: Chemical and morphological investigation. *Construction and Building Materials*, 205, 633-641. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.02.050
- Singh, Bhupendra; Kumar, Praveen. (2020). Viscoelastic and Morphological Evaluation of Aged Polymer Modified. *International Journal of Civil Engineering*, 18(9), 1077-1096. doi:10.1007/s40999-020-00517-4
- Xiao, F., Li, R., Amir Khanian, S., y Yuan, J. (2018). Rutting-Resistance Investigation of Alternative Polymerized Asphalt Mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(6). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002302
- Xiao, X., Liu, W., Zhang, D., y Wan, C. (2018). Effect of Organic Montmorillonite on Microstructure and Properties of the OMMT/EVA/Asphalt Composites. *Polymer Composites*, 39(6), 1959-1966. doi:10.1002/pc.24154
- Yadykina, V., Navolokina, S., y Gridchin, A. (2020). The Dependence of the Modified Bitumen Properties on the Amount of Vinyl Acetate in the Sevilen Composition. 2nd International Scientific Conference on Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development, 974, págs. 175-180. Belgorod, Rusia. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.974.175
- Yan, K., Chen, J., You, L., y Tian, S. (2020). Characteristics of compound asphalt modified by waste tire rubber (WTR) and ethylene vinyl acetate (EVA): Conventional, rheological, and microstructural properties. *Journal of Cleaner Production*, 258. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120732
- Yan, K., Tian, S., Chen, J., y Liu, J. (2020). High temperature rheological properties of APAO and EVA compound modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 233. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117246
- Yan, K., Hong, Z., You, L., Ou, J., y Miljkovic, M. (2021). Influence of ethylene-vinyl acetate on the performance improvements of low-density polyethylene-modified bitumen. *Journal of Cleaner Production*, 278. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123865
- Yu, R., Liu, X., Zhang, M., Zhu, X., y Fang, C. (2017). Dynamic stability of ethylene-vinyl acetate copolymer/crumb rubber modified asphalt. *Construction and Building*

- Materials, 156, 284 - 292. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.08.182
- Yuliestyan, A., Cuadri, A. A., García Morales, M., y Partal, P. (2016). Influence of polymer melting point and Melt Flow Index on the performance of ethylene-vinyl-acetate modified bitumen for reduced-temperature application. *Materials and Design*, 96, 180-188. doi:10.1016/j.matdes.2016.02.003
- Yuliestyan, A., Cuadri, A. A., García Morales, M., y Partal, P. (2018). Selection of ethylene-vinyl-acetate properties for modified bitumen with enhanced end-performance. *Rheologica Acta*, 57(1), 71-82. doi:10.1007/s00397-017-1057-5
- Zakieva, R., Gussamov, I., Gadel'shin, R., Petrov, S., Ibragimova, D., y Fakhrutdinov, R. (2015). Effect of modification of a copolymer of ethylene with vinyl acetate on the performance of cement and asphalt concrete based on it. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 51(5), 480-486. doi:10.1007/s10553-015-0628-3
- Zhang, H., Wu, J., Luo, Y., y Qin, Z. (2021). High-temperature properties of composite modified light-colored synthetic asphalt binders. *Materials Research Express*, 8(6). doi:10.1088/2053-1591/ac07e6