

Análisis bibliográfico de las mezclas asfálticas tibias (WMA)

Juan Camilo Agudelo Cossio, Juan José Díaz Cardona, María Julia Nieto Callejas

**Universidad Católica Luis Amigó
Medellín, Colombia**

Resumen

En este trabajo se realizó una revisión bibliográfica sobre la evolución de las mezclas asfálticas tibias, enfocándose en sus beneficios ambientales, desafíos técnicos y normativos, y su desempeño bajo condiciones extremas. A través de la recopilación de estudios previos y la evaluación de casos prácticos, se busca ofrecer un análisis detallado de las principales ventajas y limitaciones de las mezclas asfálticas tibias (WMA), así como su potencial para reducir la huella de carbono en la industria de la pavimentación. Dentro de la investigación, se tuvieron en cuenta un total de 27 artículos obtenidos en las bases de datos de Scopus y Science Direct, dentro de la ventana temporal desde 2015 al 2024, en los cuales se analizó el desempeño de las mezclas asfálticas tibias (WMA) en diferentes tipos de vías, el uso de aditivos específicos y material reciclado, teniendo como marco de referencia a las mezclas asfálticas calientes (HMA) a través de las normas INVIAS 2022. Este análisis permite reconocer a las mezclas asfálticas tibias (WMA) como una tecnología que se usa predominantemente en autopistas y carreteras principales. Esto se debe a su capacidad para soportar cargas pesadas en complemento con aditivos que ayudan a su instalación, lo cual beneficia tanto a la infraestructura vial como al medio ambiente. Además, el enfoque ambiental se refuerza con el uso de materiales reciclados como el pavimento asfáltico reciclado (RAP) y los agregados de concreto reciclado (RCA), promoviendo prácticas de construcción más sostenibles al disminuir la necesidad de materiales vírgenes. Finalmente, la creciente investigación y aplicación práctica en el área de pavimentos sugieren que las mezclas asfálticas tibias (WMA) jugarán un papel importante en el desarrollo de infraestructuras más sostenibles en el futuro cercano para Colombia.

Palabras clave: pavimento; mezclas asfálticas; vías; construcción sostenible

Abstract

This paper reviews the literature on the evolution of warm-mix asphalt, focusing on their environmental benefits, technical and regulatory challenges, and their performance under extreme conditions. By compiling previous studies and evaluating case studies, the paper seeks to offer a detailed analysis of the main advantages and limitations of warm-mix asphalt (WMA), as well as their potential to reduce the carbon footprint of the paving industry. Within the research, a total of 27 articles obtained from the Scopus and Science Direct databases were taken into account, within the time window from 2015 to 2024, in which the performance of warm mix asphalt (WMA) on different types of roads was analyzed, the use of specific additives and recycled material, taking as a reference framework hot mix asphalt (HMA) through the INVIAS 2022 standards. This analysis allows warm mix asphalt (WMA) to be recognized as a technology predominantly used in highways and main roads. This is due to their ability to withstand heavy loads in addition to additives that aid their installation, which benefits both road infrastructure and the environment. Furthermore, the environmental focus is reinforced by the use of recycled materials such as recycled asphalt pavement (RAP) and recycled concrete aggregates (RCA), promoting more sustainable construction practices by reducing the need for virgin materials. Finally, growing research and practical applications in the field of pavements suggest that warm-mix asphalt (WMA) will play an important role in the development of more sustainable infrastructure in Colombia's near future.

Keywords: *pavement; asphalt mix; road; sustainable construction*

1. Introducción

La creciente demanda de soluciones sostenibles en la industria de la construcción de infraestructuras viales ha impulsado el desarrollo de tecnologías innovadoras que buscan reducir el impacto ambiental sin comprometer la calidad y seguridad de las carreteras. Entre estas tecnologías, las mezclas asfálticas tibias (WMA) se han destacado por su capacidad de disminuir las temperaturas de producción y aplicación, lo que resulta en una significativa reducción del consumo energético y de las emisiones de gases contaminantes. Este avance ha despertado el interés de la comunidad científica y de los profesionales del sector, quienes reconocen el potencial de las WMA para contribuir a la sostenibilidad de las infraestructuras viales (Pouranian, *et. al*, 2019).

Sin embargo, a pesar de sus ventajas, la implementación generalizada de las WMA ha planteado desafíos importantes en cuanto a su desempeño en climas extremos y bajo altas cargas de tráfico. En particular, las preocupaciones sobre las deformaciones y los agrietamientos han generado inquietudes sobre la durabilidad y seguridad de las carreteras construidas con esta tecnología. Estas incertidumbres, sumadas a la necesidad de cumplir con las normativas internacionales de calidad y desempeño, justifican la necesidad de realizar una revisión exhaustiva de la literatura existente para comprender mejor los beneficios y limitaciones de las WMA (U.S. Department of Transportation, 2016).

2. Marco Teórico

Las mezclas asfálticas tibias son una tecnología relativamente nueva que permite producir y aplicar asfalto a temperaturas más bajas que las mezclas convencionales (mezclas en caliente). Normalmente, estas mezclas se fabrican a temperaturas entre 20 y 40°C más bajas que las mezclas asfálticas calientes. Esta tecnología se basa en el uso de aditivos o procesos que mejoran la trabajabilidad del asfalto a menores temperaturas, lo que resulta en una reducción de las emisiones contaminantes y el consumo de energía. Los aditivos más comunes incluyen ceras, emulsiones y agentes espumantes, que permiten una compactación adecuada a temperaturas más bajas (Rubio, *et al.*, 2012).

El comportamiento de las mezclas asfálticas tibias en términos de resistencia y durabilidad es un aspecto crítico para su adopción. Estudios indican que las WMA tienen propiedades similares a las mezclas asfálticas en caliente (HMA), pero pueden presentar algunas variaciones dependiendo de las condiciones de instalación y los aditivos utilizados. Según Mohd Hasan, *et al.* (2017) algunas propiedades mecánicas clave a considerar incluyen:

- a. Resistencia a la deformación permanente, que puede ser afectada por las menores temperaturas de compactación.
- b. Resistencia a la fatiga y al agrietamiento térmico, que son esenciales para la durabilidad de la carretera en climas fríos o con variaciones térmicas significativas.
- c. Compactación: Las WMA permiten una compactación más fácil, lo que mejora la calidad de las capas de pavimento, especialmente en condiciones de baja temperatura.

La tecnología WMA se basa en el uso de diversos aditivos, que son los responsables de reducir las temperaturas de producción. Entre los aditivos más utilizados se encuentran:

- a. Aditivos de cera, que mejoran la fluidez del asfalto a temperaturas más bajas (Mohd Hasan, *et al.*, 2017).
- b. Emulsiones asfálticas, que permiten reducir la viscosidad del asfalto para facilitar su manipulación (Rubio, *et al.*, 2012).
- c. Agentes espumantes, que permiten la expansión del asfalto cuando se mezcla con agua a temperaturas más bajas, mejorando su trabajabilidad (Bonaquist, *et al.*, 2011).

Aunque las WMA presentan varios beneficios, es esencial compararlas con las mezclas asfálticas en caliente (HMA) para entender sus limitaciones. Las mezclas en caliente siguen siendo el estándar en muchas regiones debido a su probado desempeño, especialmente en climas extremos o bajo tráfico pesado. Sin embargo, las WMA ofrecen ventajas en entornos urbanos o regiones con restricciones ambientales, donde las reducciones en las emisiones y el ruido de construcción son altamente valoradas (Rubio, *et al.*, 2012).

Las WMA han sido adoptadas en numerosos países para diversos proyectos viales, desde carreteras locales hasta autopistas de alto tráfico. En algunos casos, su aplicación ha permitido extender las temporadas de pavimentación en regiones con climas fríos, dado que estas mezclas pueden ser aplicadas en condiciones más frías sin comprometer la calidad (Hettiarachchi, *et al.*, 2019).

3. Metodología

El trabajo consiste en una metodología de investigación mixta, combinando enfoques cuantitativos y cualitativos. Se emplearon análisis estadísticos para medir variables técnicas como temperatura y viscosidad además de revisiones cualitativas para interpretar normativas y estudios. Esta integración permite obtener una visión más completa y precisa del desempeño de las mezclas asfálticas tibias.

1. Revisión bibliográfica: Se realizará una búsqueda y análisis de documentos técnicos y normativos sobre mezclas asfálticas tibias en bases de datos especializadas.
2. Análisis comparativo: Se evaluarán estudios comparativos entre mezclas tibias y convencionales, enfocándose en su viscosidad y temperatura.
3. Exploración de viabilidad técnica: Se estudiarán los desafíos y beneficios técnicos de implementar mezclas asfálticas tibias en proyectos viales.

4. Resultados

El tipo de vía más comúnmente construido utilizando WMA son las autopistas y carreteras principales, debido a su capacidad para soportar tráfico de medio a alto volumen. Esta tecnología es preferida por su capacidad de reducir las emisiones de CO₂, según diversos estudios, y optimizar el proceso de pavimentación. En la mayoría de estos estudios, se utiliza el RAP o el RCA como una metodología adicional para darle un enfoque más ambiental mediante la reutilización de materiales, lo que contribuye a la reducción del uso de materiales vírgenes.

Las WMA han demostrado tener un comportamiento mecánico comparable, e incluso en algunos casos superior, al asfalto de mezcla caliente (HMA), particularmente en términos de resistencia a la fatiga y agrietamiento por humedad. Los aditivos más comunes empleados en el proceso son Sasobit y otros compuestos basados en cera o zeolitas, los cuales permiten reducir la viscosidad del asfalto, mejorar su trabajabilidad y mantener sus propiedades mecánicas a temperaturas más bajas, lo que facilita la colocación y compactación del pavimento de manera más eficiente y sostenible.

Varios documentos evalúan el desempeño a largo plazo del WMA, indicando que estas mezclas mantienen una buena resistencia a lo largo del tiempo, incluso en condiciones de tráfico pesado. Se realizaron estudios comparativos con HMA para demostrar que el WMA puede tener un rendimiento similar o superior en aspectos como resistencia a la fatiga y estabilidad térmica (U.S. Department of Transportation, 2016).

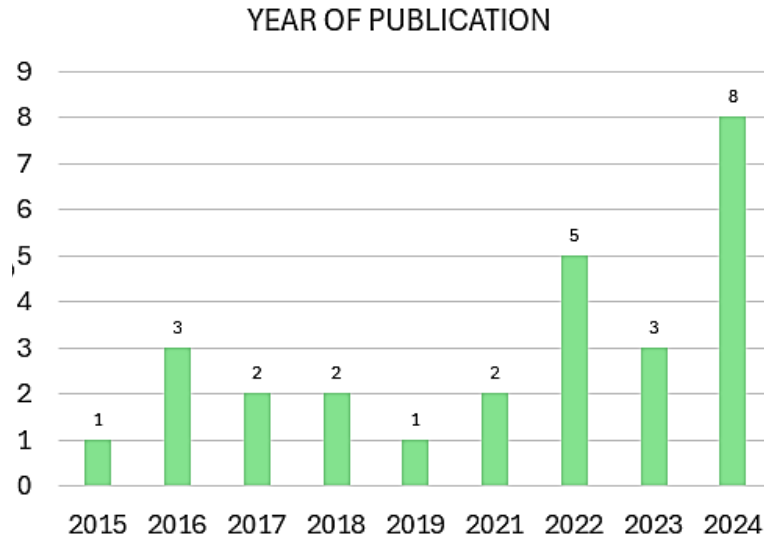


Figura 1 Publicaciones relacionadas con la aplicación de WMA a través de los años

En la Figura 1, se presenta la evolución de las publicaciones entre 2015 y 2024, destacando un incremento considerable en 2024 de publicaciones totales concentradas en este año. Los datos también resaltan una alta actividad en los años recientes (2021-2023), mientras que períodos anteriores muestran valores significativamente menores.

En la Figura 2, se evidencia la distribución porcentual del uso de las bases de datos desde las cuales se seleccionó la documentación para este análisis, un total de 27 artículos. Science Direct sobresale como la principal fuente, con 21 documentos (78%), mientras que Scielo y Scopus aportan cada uno 3 documentos (11%).

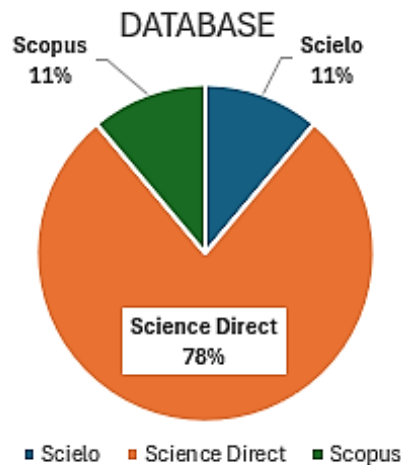


Figura 2 Bases de datos consultadas.

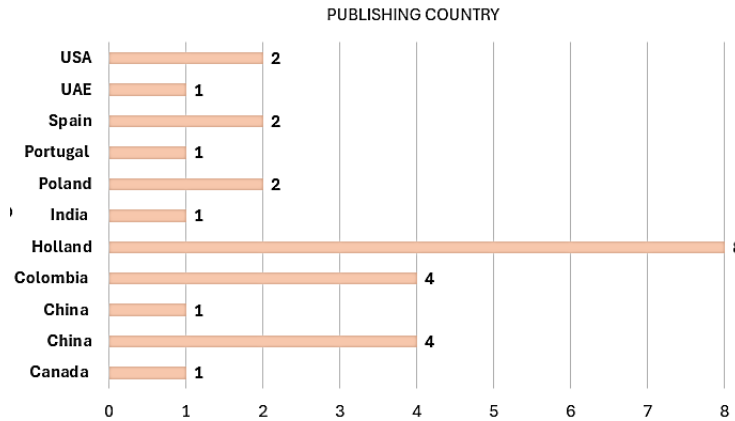


Figura 3 Origen de las publicaciones.

La Figura 3, muestra que los países con mayor cantidad de publicaciones son Holanda con 8 (27%), China con 5 (19%) y Colombia con 4 (15%). Estos tres países concentran más del 60% del total, lo que sugiere su liderazgo o relevancia en la producción académica en este contexto.

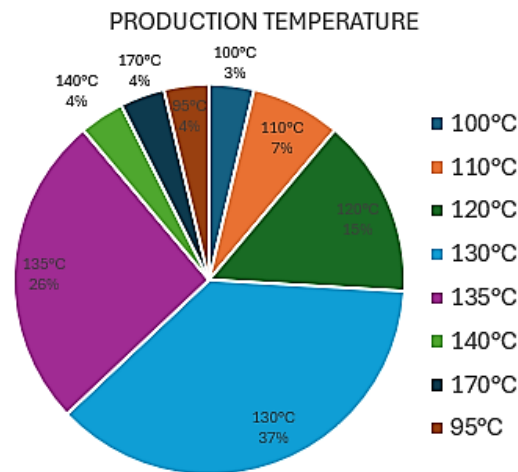


Figura 4 Temperaturas usadas en la conformación de las mezclas asfálticas producidas según los documentos.

En la Figura 4, se muestra la distribución de las temperaturas de producción, totalizando 56 tipos de mezclas asfálticas dentro de los 27 documentos. La temperatura 130°C predomina con 21 registros (37%), seguida de 135°C con 15 registros (26%) y 120°C con 8 registros (15%). Estas temperaturas intermedias (120°C-135°C) concentran la mayoría de los casos, lo que sugiere una preferencia por rangos moderados en la producción de mezclas asfálticas tibias, con la finalidad de mantener un equilibrio entre la eficiencia energética y rendimiento del material.

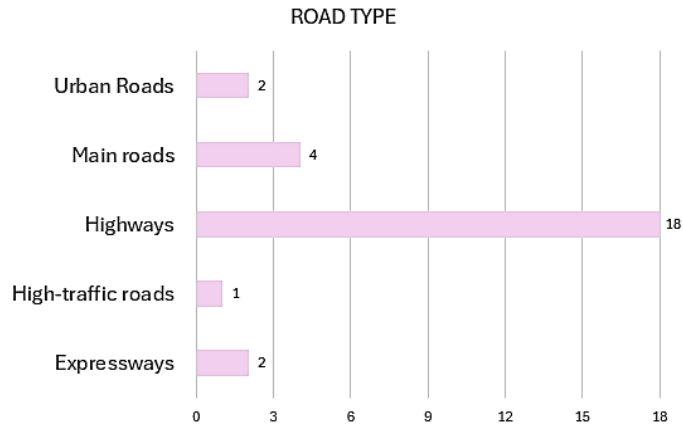


Figura 5 Tipos de vías pavimentadas con WMA.

En la Figura 5, se muestra que en las autopistas (Highways) predomina el uso de las WMA con 18 documentos que reportan su implementación en este tipo de vía, probablemente debido a su alta durabilidad y soporte frente a las cargas de tráfico. Las vías principales (Main roads) ocupan el segundo lugar con 4 documentos, reflejando una creciente aplicación en entornos urbanos, donde el impacto ambiental y la reducción de emisiones son relevantes.

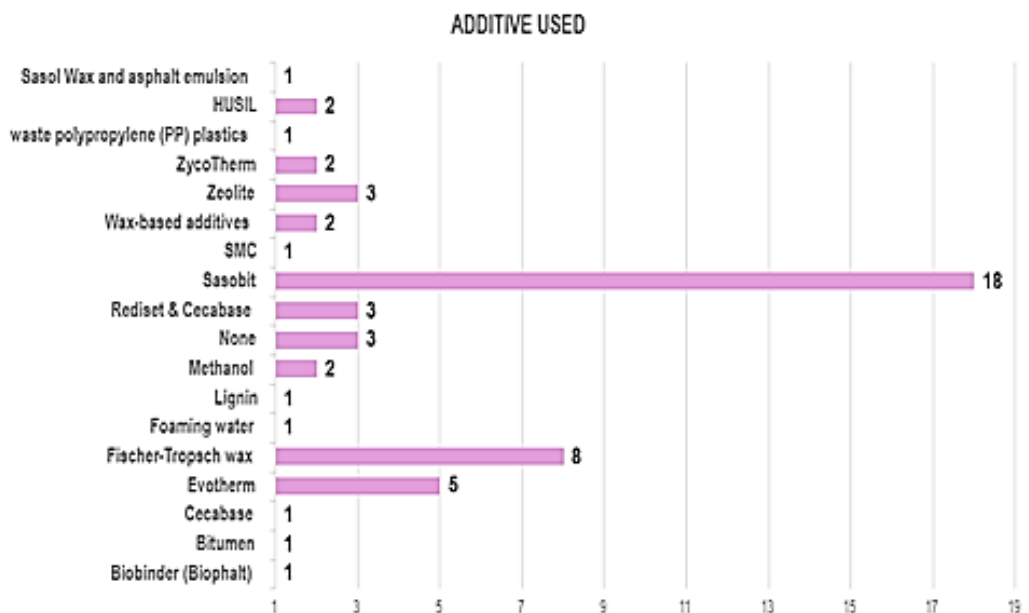


Figura 6 Tipos de aditivos usados en la conformación de las WMA.

De las 56 WMA presentadas en los 27 documentos, de acuerdo con la Figura 6 que, el aditivo Sasobit predomina con 18 mezclas realizadas con este aditivo, representando el 32% de las mezclas analizadas, seguido por la cera Fischer-Tropsch con 8 mezclas realizadas con este aditivo que representan al 14% de las mezclas analizadas y el aditivo Evotherm fue usado para 5 mezclas que representan el 9% de las mezclas analizadas. Estos 3 aditivos fueron usados en más del 50% de las mezclas asfálticas usadas.

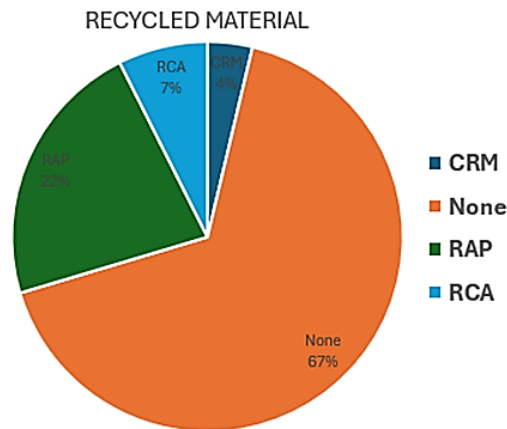


Figura 7 Materiales reciclados usados en la conformación de las WMA.

Como se puede observar en la Figura 7, de las 56 mezclas WMA analizadas, en su mayoría no usaron materiales reciclados para su producción, en total 38 WMA que representan al 67% de las mezclas analizadas. Sin embargo, es importante destacar que se encontraron 12 WMA que integraron RAP en su conformación representando un 22% de las mezclas analizadas, seguidos por el uso de RCA en 4 WMA que representan un 7% de las mezclas analizadas y CRM (asfalto modificado con caucho molido) en 2 WMA que representan un 4% de las mezclas analizadas.

En la Figura 8, la línea de color azul representa la curva reológica asociada a las mezclas en caliente (HMA). Se establecieron márgenes de tolerancia del +2% (línea gris) y del -2% (línea naranja), con el objetivo de delimitar un rango de aceptación para las mezclas WMA analizadas, con la finalidad de realizar un análisis riguroso de cumplimiento de la norma INVIAS 2022, la cual actualmente tiene parámetros estándar para las HMA, pero no ha establecido para Colombia la reglamentación para el uso de las WMA.

En la Figura 9, se presentan los valores de viscosidad para las mezclas WMA que se producen a la temperatura de 135°C, las cuales anteriormente se analizan 15 mezclas WMA de la documentación consultada, de estas, se reconocen 3 mezclas WMA que cumplen con estos parámetros normativos, específicamente con los valores de viscosidad de 0.36, 0.45 y 0.502 Pa·s, los cuales se asocian a diferentes aditivos analizados: HUSIL (Rondón-Quintana, *et al.*, 2017), Waste polypropylene (PP) plastics (Hu, *et al.*, 2024), y Evotherm (Liu, *et al.*, 2018) respectivamente. Estos aditivos desempeñan roles complementarios en las mezclas WMA, contribuyendo de manera significativa a mejorar diferentes aspectos de las propiedades del pavimento y a promover prácticas más sostenibles en la construcción vial.

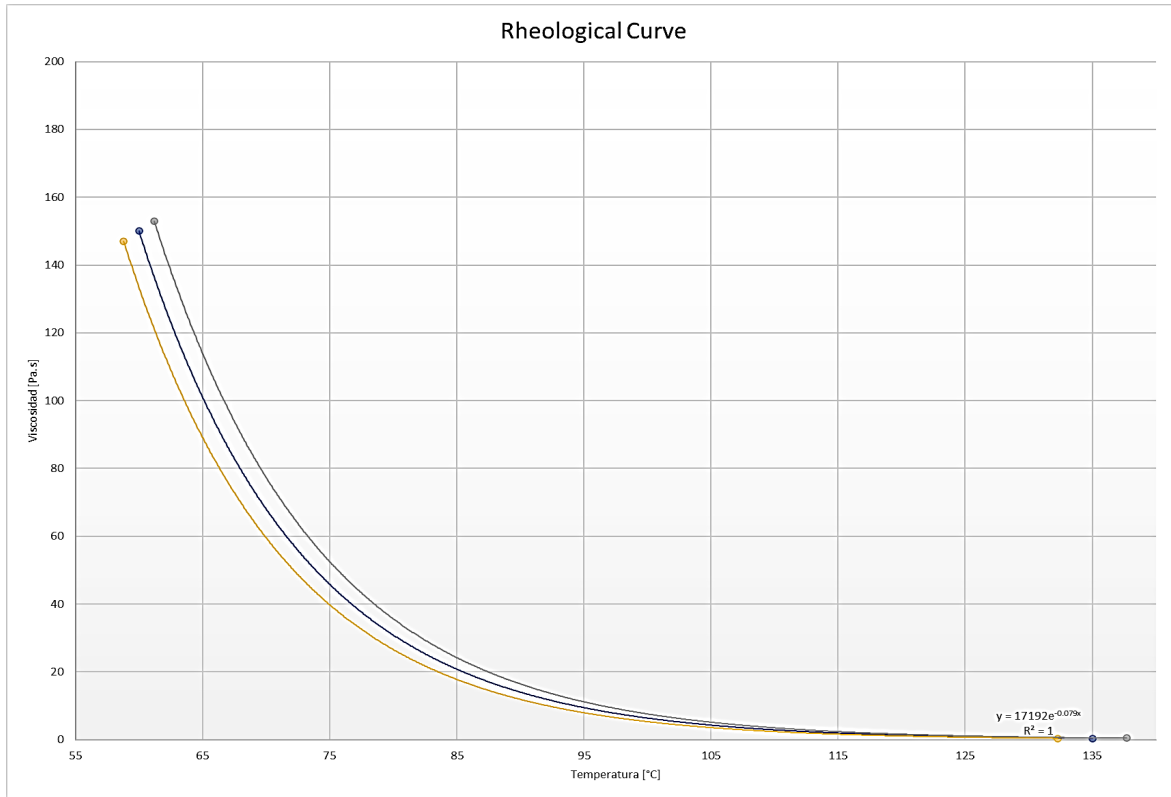


Figura 8 Curva reológica (Viscosidad vs Temperatura) para HMA según la INVIAS 2022.

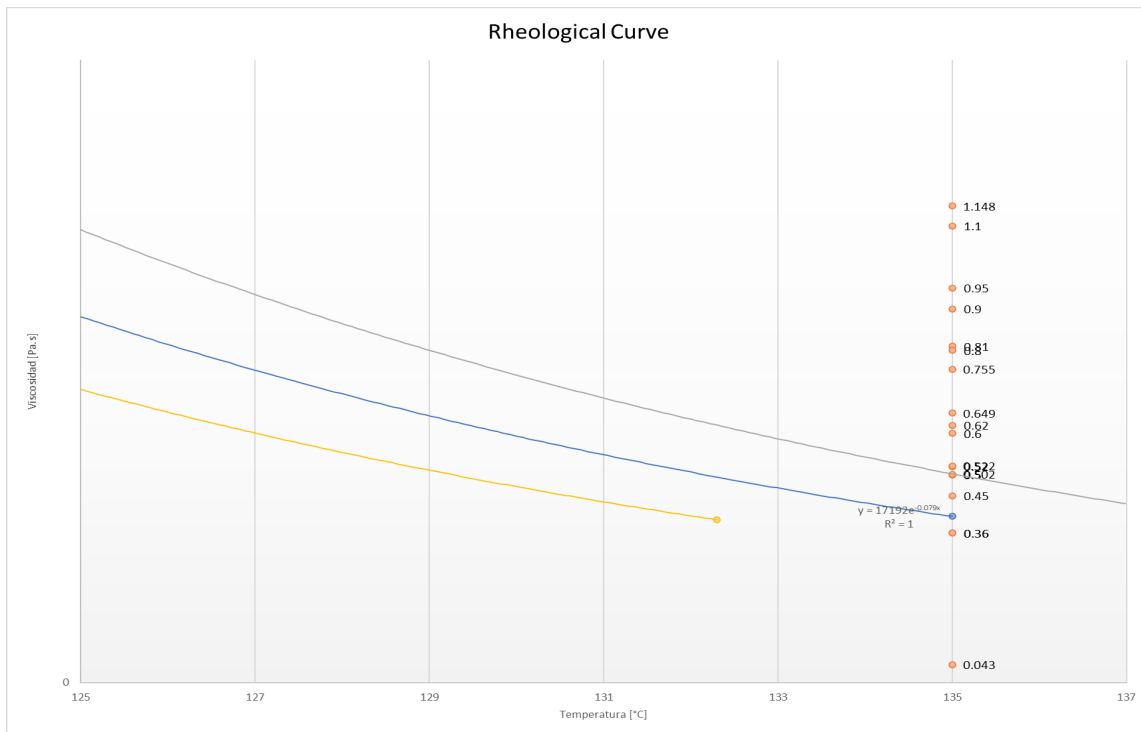


Figura 9 Valores de viscosidad para las WMA con temperatura de producción de 135°C.

5. Conclusiones



Las mezclas asfálticas tibias (WMA) representan una alternativa técnica y ambientalmente viable para la construcción de infraestructura vial sostenible. Su capacidad para ser producidas a temperaturas entre 20 °C y 40 °C inferiores a las de las mezclas en caliente (HMA) permite reducir significativamente el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero, sin comprometer las propiedades mecánicas del pavimento.

El uso de aditivos como Sasobit, Evotherm y polipropileno reciclado han sido determinantes para mejorar la trabajabilidad, la compactación a bajas temperaturas y la durabilidad de estas mezclas, al tiempo que se avanza hacia un enfoque más sostenible mediante la inclusión de materiales reciclados. No obstante, persiste una oportunidad clara para incrementar el uso de agregados reciclados, como RAP y RCA, cuya adopción aún no refleja su potencial técnico y ambiental.

Desde el punto de vista operativo, las WMA han demostrado ser confiables en condiciones de tráfico intenso, contribuyendo a la eficiencia constructiva y a la reducción del impacto ambiental. Sin embargo, la falta de una normativa específica en Colombia limita su implementación masiva, a pesar de que cumplen con los requisitos establecidos para las mezclas tradicionales. En este contexto, resulta prioritario avanzar en el desarrollo de un marco regulatorio que contemple las particularidades de esta tecnología.

Finalmente, el creciente interés por las mezclas asfálticas tibias, tanto en el ámbito académico como industrial, se refleja en la expansión de la producción científica internacional, con aportes relevantes desde países como Holanda, China, Estados Unidos y Colombia. Este dinamismo investigativo favorece la transferencia de conocimiento y la incorporación de innovaciones orientadas a mejorar la seguridad laboral y el desempeño ambiental, consolidando a las WMA como una solución integral para el desarrollo de una infraestructura vial más sostenible y resiliente.

6. Referencias

Artículos de revistas

- Hettiarachchi, C., Hou, X., Wang, J., & Xiao, F. (2019). A comprehensive review on the utilization of reclaimed asphalt material with warm mix asphalt technology. *Construction and Building Materials*, 227(117096), 117096. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117096>
- Hu, J., Jiang, X., Chu, Y., Xu, S., & Xu, X. (2024). Mechanochemical upcycling of waste polypropylene into warm-mix modifier for asphalt pavement incorporating recycled concrete aggregates. *Polymers*, 16(17), 2494. <https://doi.org/10.3390/polym16172494>
- Liu, J., Yan, K., & Liu, J. (2018). Rheological properties of warm mix asphalt binders and warm mix asphalt binders containing polyphosphoric acid. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(5), 481–487. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2018.03.005>
- Mohd Hasan, M. R., You, Z., and Yang, X. (2017). A comprehensive review of theory, development, and implementation of warm mix asphalt using foaming techniques. *Construction and Building Materials*, 152, 115–133. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.135>
- Pouranian, M. R., and Shishehbor, M. (2019). Sustainability assessment of green asphalt mixtures: A review. *Environments*, 6(6), 73. <https://doi.org/10.3390/environments6060073>

- Rondón-Quintana, H. A., León Vergara, O. I., & Fernández Gómez, W. D. (2017). Behavior of a warm mix asphalt made in an asphalt plant. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 153–173. <https://doi.org/10.14482/inde.35.1.8947>
- Rubio, M. C., Martínez, G., Baena, L., and Moreno, F. (2012). Warm mix asphalt: an overview. *Journal of Cleaner Production*, 24, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.053>

Libros

- Bonaquist, R., Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program, & Transportation Research Board. (2011). *Mix Design Practices for Warm-Mix Asphalt*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/14488>

Fuentes electrónicas

- U.S. Department of Transportation. (2016). Warm mix asphalt. Center for Accelerating Innovation. <https://www.fhwa.dot.gov/innovation/everydaycounts/edc-1/wma.cfm>

Sobre los autores

- **Juan Camilo Agudelo Cossio:** Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica Luis Amigó. juan.agudelosi@amigo.edu.co
- **Juan José Díaz Cardona:** Ingeniero Civil, Universidad Católica Luis Amigó. juan.diazca@amigo.edu.co
- **María Julia Nieto Callejas:** Ingeniera Física, Magíster en Ingeniería-Geotecnia, Docente con funciones de coordinación del programa de Ingeniería Civil, Universidad Católica Luis Amigó. maria.nietoca@amigo.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)