

## Aportes de partículas de caucho de neumáticos reciclados a mezclas de concreto y aplicaciones

Jesús Mario Colín-de la Cruz <sup>1</sup>, Yamilet Rodríguez-Lazcano <sup>2</sup>, Carlos Ramón Batista-Rodríguez <sup>3</sup>, Jesús del Carmen Peralta-Abarca <sup>1</sup>, Ariadna Ortiz-Huerta <sup>1</sup> y Alina Juantorena-Ugás <sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México.

<sup>2</sup> Unidad Académica de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Autónoma de Nayarit, Nayarit, México.

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica. Universidad Antonio Nariño, Tunja, Colombia.

\* Autor de correspondencia: [alinajt2@yahoo.es](mailto:alinajt2@yahoo.es)

### Artículo de divulgación científica

Recibido: 27 de octubre de 2024

Aceptado: 10 de diciembre de 2024

Publicado: 27 de diciembre de 2024

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.295>

**Resumen:** Las partículas de neumáticos reciclados son un biomaterial con valiosas aplicaciones y su aprovechamiento permite disminuir las cantidades de neumáticos abandonados sin utilidad alguna que provocan contaminación y afectaciones al ambiente, a la salud y a la sociedad. En este trabajo se realiza una revisión sobre la adición de partículas de caucho al concreto para su mejor desempeño y trabajabilidad. Se muestra composición, contaminación que ocasionan, reciclaje y se resumen algunas de las investigaciones más recientes en cuanto a los aportes de las partículas de caucho a mezclas de concreto y sus aplicaciones. La divulgación de tales resultados es muy necesaria para posibilitar su transferencia a innovaciones con impacto socioeconómico.

**Palabras clave:** concreto; reciclaje de neumáticos; caucho reciclado; mezclas de concreto-caucho reciclado

### Introducción

Los problemas que enfrenta la humanidad con el cambio climático obligan a realizar acciones de disminución de la contaminación y proponer un uso eficiente de la energía. Se hace necesario formular propuestas para aumentar el reciclaje y la reutilización de muchos productos que son arrojados a cuerpos de agua, campos baldíos y espacios no adecuados, ocasionando graves efectos a la salud y al ambiente (Vishnu y Singh, 2021). Además, resulta urgente la búsqueda de tecnologías que permitan mitigar estos impactos y favorezcan el aprovechamiento máximo de los materiales.

A nivel mundial, la contaminación ocasionada por los neumáticos que no se reciclan es una situación que se ha ido agravando. Cada año se producen millones de toneladas de neumáticos que son desechados al llegar al indicador legal de 1.6 mm o como consecuencia de algún tipo de daño, lo cual presenta un grave problema ambiental (Hoyos *et al.*, 2020). Se estima que al año hay aproximadamente 30 millones de toneladas de neumáticos descartados. Los residuos generados provocan una degradación ambiental a la par con el aumento del número de vehículos (Mbereyaho *et al.*, 2021). El 40 % de los neumáticos es reciclado como combustible y menos del 10 % se reutiliza en aplicaciones geotécnicas (Tasalloti *et al.*, 2021).

El caucho reciclado a partir de neumáticos puede tener diferentes aplicaciones como: en la industria de la construcción mezclado con cemento para pavimentos en carreteras, en la industria de muebles, entre otros. Es importante tener en cuenta la caracterización del caucho reciclable, así como analizar sus propiedades específicas (Barnabas y Geethan, 2021). En especial a partir de 2010, países del llamado Primer Mundo encabezan las publicaciones en revistas de alta visibilidad sobre el uso de caucho reciclado proveniente de neumáticos para aplicaciones constructivas (Zarhri *et al.*, 2022).

El caucho reciclado se utiliza para la modificación del asfalto y el desarrollo de pavimentos flexibles sostenibles. La adición de plástico y caucho podría mejorar la resistencia a la formación de rodaduras de las mezclas de aglutinantes. El pavimento flexible consume principalmente gran cantidad de betún y esto se ha convertido en un problema importante en términos de sostenibilidad ambiental y desde el punto de vista económico (Ansari *et al.*, 2021). El betún se obtiene como subproducto de la refinación de petróleo y éste es un recurso no renovable (Kumar *et al.*, 2020), por lo que su uso en pavimentos flexibles podría estar al borde de la extinción. La elección del tipo de aglutinante asfáltico

adecuado en pavimentos flexibles puede mejorar su desempeño y el control en fallas por deformación permanente (Abed y Al-Haddad, 2020).

Mbreyaho *et al.* (2021) realizaron estudios utilizando polvo de desecho de caucho como reemplazo parcial del betún ordinario en un 5 %, 10 %, 15 % y 20 % de su peso. Elaboraron muestras adecuadas, investigaron las propiedades del producto bituminoso y verificaron la calidad estándar del betún Grado 60/70. Al realizar una sustitución parcial del betún ordinario por residuos de caucho de neumáticos, se redujo la cantidad de residuos de caucho dispersos en la naturaleza y el costo del material, manteniendo o mejorando el desempeño del producto bituminoso.

En el presente trabajo se realiza una revisión de la literatura en el tema de adición de partículas de caucho de neumáticos reciclados y sus aplicaciones en mezclas de concreto, como contribución a la disminución de los volúmenes de neumáticos abandonados que causan contaminación ambiental al suelo, a las fuentes de agua y a la salud.

## Desarrollo

A nivel mundial, existen varias empresas que fabrican neumáticos de caucho, ejemplo: Bridgestone, Michelin, Goodyear y Continental. Según el Ranking mundial de las principales empresas en la industria de fabricación de neumáticos por valor de marca presentado en Figura 1, la empresa francesa Michelin es líder en la clasificación; Bridgestone y Continental ocupan la segunda y la tercera posición, respectivamente (DIE, 2024).

### Composición de los neumáticos de caucho

Los neumáticos de caucho o llantas de caucho de goma tienen la función principal de permitir un adecuado contacto por adherencia entre las ruedas y fricción con el pavimento, posibilitando el arranque, el frenado y la guía. Se componen de un 48 % de caucho, 22 % negro carbón, 15 % acero, 12 % otros, 5 % material textil y 1.2 % de óxido de zinc (Carlinder, 2021).

### Contaminación ambiental por neumáticos de caucho y su reciclaje

Los neumáticos de caucho luego de su vida útil son desechados en su mayoría y contribuyen a la contaminación ambiental, ocasionando un impacto negativo a nivel mundial, social y de salud pública. La demanda en su producción no ha dejado de crecer, su fabricación necesita de una gran cantidad de materias primas y procesos industriales que involucran energía, agua, azufre, hidrocarburos, textiles, acero, pigmentos, etc., lo cual implica necesariamente un impacto sobre el ambiente. Desecharlos sin ningún cuidado o no reciclarlos de manera correcta y controlada, es una situación agravada por regulaciones locales incompletas o inefectivas (Mamani y Mamani, 2024) y genera una gran contaminación ambiental, por ejemplo, la quema directa produce gases muy nocivos que afectan al entorno (Grupo Geo, 2021).

Actualmente se hace muy necesario establecer políticas públicas tendientes a favorecer la implantación de industrias que puedan dedicarse al reciclaje de neumáticos, para recuperar lo que sea posible y resolver su disposición con mínimo efecto negativo al ambiente. Entre las formas más amigables para el manejo se encuentran: apilamiento, entierro, reutilización (reencauchamiento) y reciclaje. En ingeniería civil se realiza regeneración del caucho, generación de energía, producción de asfalto o fabricación de nuevos materiales (Grupo Geo, 2021). Estas variantes permiten aprovechar las posibilidades que ofrecen las llantas de caucho, una vez terminada su vida útil dentro del transporte. En

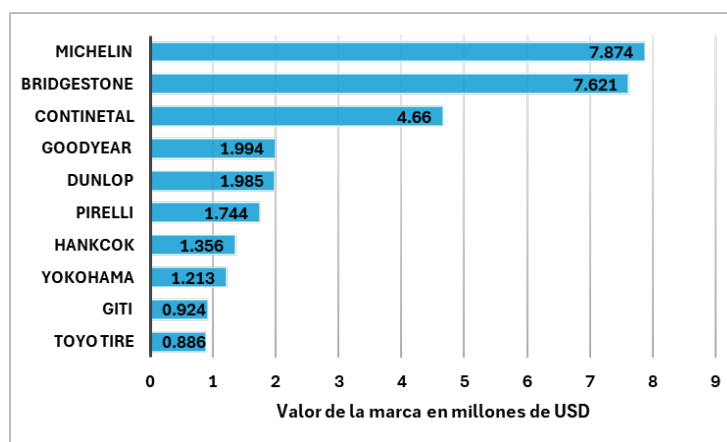


Figura 1. Ranking mundial de principales marcas de neumáticos (Fuente: Elaboración propia).

particular, en este trabajo se consideraron publicaciones que referían aporte de partículas de caucho reciclado a mezclas de concreto.

### *Aportes de partículas de caucho reciclado al concreto y aplicaciones*

La revisión bibliográfica evidenció el interés en el tema y los resultados alcanzados por investigadores, que tienen en cuenta el contenido de caucho de neumáticos reciclados agregados al concreto, sus aportes y aplicaciones. La Tabla 1 resume estudios recientes y permite distintas comparaciones

Tabla 1. Ejemplos de aplicaciones y aportes del caucho de neumáticos reciclados agregados al concreto.

Material	Forma de Agregado	Aplicaciones	Aporte	Referencias
Caucho	20 % del volumen total agregado	Elaboración de concretos de alta resistencia con un límite de 60 MPa.	Se reduce la resistencia a la flexión en un 12.8 %.	Muñoz <i>et al.</i> , 2021.
Caucho	Polvo de desecho	Reemplazo parcial del betún ordinario.	Con 5 % de reposición: - Se logran resultados de calidad de acuerdo con Normas. - Se obtiene una reducción de costos del 5.3 %.	Mbereyaho <i>et al.</i> , 2021.
Caucho	Reciclado	Modificación del asfalto.	Pavimento flexible.	Ma <i>et al.</i> , 2021.
Caucho	Partículas	Elaboración de prototipo de bloque de concreto.	Con 20 % de sustitución: - Mostró una resistencia neta mínima a la compresión simple que cumple con la normatividad. - El precio del prototipo resulta más económico que el convencional.	Lara <i>et al.</i> , 2020.
Caucho	Sustitución parcial de caucho y cuero.	Adición a mezcla bituminosa.	Se aumenta el rendimiento en mezcla bituminosa.	Gull y Gahir, 2020
Caucho	Reciclado	Elaboración de pavimentos flexibles.	- Se reduce la deformación permanente de los pavimentos flexibles. - Se mejora la resistencia al daño por fatiga.	Alfayez <i>et al.</i> , 2020
Caucho	Reciclado	Flexibilidad de las mezclas asfálticas.	Se reduce la resistencia al agrietamiento por fatiga.	Do <i>et al.</i> , 2020
Caucho	Polvo de caucho reciclado	Aplicaciones geotécnicas.	Se mejora en la resistencia al corte y un valor de índice de soporte aceptable.	Álvarez <i>et al.</i> , 2020
Caucho	Triturado	Elaboración de concreto hidráulico.	Se incrementa la resistencia al impacto y la resistencia a la fatiga.	Silvestre, 2019
Caucho	Reciclado	Fabricación de concreto modificado con aditivo plastificante.	Hasta en 10 %: - Se mejora la resistencia mecánica. - Se hace más viable su incorporación en la mezcla.	Farfán y Leonardo, 2018
Caucho	Reciclado	Aisladores sísmicos, en muros de contención, en mezclas asfálticas, para construir pavimentos.	Se mejoran las mezclas asfálticas, para construir pavimentos.	Peláez <i>et al.</i> , 2017.

Se puede apreciar la convergencia de resultados sobre la mejoría de algunas propiedades mecánicas, la pérdida de resistencia a compresión en concreto estructural y la ganancia en elasticidad. Un ensayo científico-académico, desarrollado en el año 2021 en Puebla, México, resume otras investigaciones que evalúan la implementación de llanta molida en materiales de construcción, cuyas conclusiones coinciden con las resumidas en la Tabla 1 (Malagón, 2021).

## Conclusiones

Estudios realizados prueban que agregar partículas de caucho al concreto en general mejora las propiedades mecánicas, la durabilidad y trabajabilidad de éste.

La cantidad de caucho de neumáticos que se vierte al ambiente puede ser disminuida cuando se reciclan y se emplean sus partículas en agregados al concreto, aportando mejoras en resistencia mecánicas y en la reducción de costos.

El caucho proveniente de neumáticos reciclado puede tener gran utilidad en la industria de la construcción, aporta a la disminución de la contaminación ambiental y podría ser viable para el desarrollo de estructuras amigables ecológicamente.

Resulta importante continuar monitoreando y divulgando estas investigaciones, para transferir el conocimiento académico a innovaciones socialmente viables, así como realizar posibles aportes a las políticas públicas y a la normatividad en la rama de la construcción.

**Agradecimientos:** A la Dra. Rosa Isabel Urquiza Salgado e Ing. Armando Bustos Gómez (ICF-UNAM) por sus colaboraciones.

## Bibliografía

- Abed, Y. H., & AL-Haddad, A. H. A. (2020, November). Evaluating and Modeling of Modified Asphalt Binder at Elevated Temperatures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 978(1), 012049. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/978/1/012049>.
- Alfayez, S. A., Suleiman, A. R., & Nehdi, M. L. (2020). Recycling tire rubber in asphalt pavements: State of the art. *Sustainability*, 12(21), 9076. <https://doi.org/10.3390/su12219076>.
- Alvarez, N., Gutierrez, J., Duran, G., & Pacheco, L. (2020, February). Experimental study of the mechanical effect of a clayey soil by adding rubber powder for geotechnical applications. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 758(1), 012057. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/758/1/012057>.
- Ansari, A. H., Jakarni, F. M., Muniandy, R., Hassim, S., & Elahi, Z. (2021). Natural rubber as a renewable and sustainable bio-modifier for pavement applications: A review. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125727. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125727>.
- Barnabas, G., Geethan, A., & Vasantha, A. (2021). Analysis of material properties of recycled plastic and rubber components. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30, 1353-1362.
- Carlider (2021). <https://www.carlider.es/Que-partes-tiene-un-neumatico-es-1-36-0.html>.
- DIE (Departamento de Investigación Estadística) (2024). <https://es.statista.com/estadisticas/1025105/valor-de-marca-de-las-principales-empresas-de-neumaticos/>.
- D Do, T. T., Nguyen, D. L., Tran, V. T., & Nguyen, H. T. (2020, November). Effects of Forta-Fi fiber on the resistance to fatigue of conventional asphalt mixtures. In *2020 5th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD)* (pp. 312-316). IEEE. <https://doi.org/10.1109/GTSD50082.2020.9303123>.
- Farfán, M., & Leonardo, E. (2018). Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante. *Revista ingeniería de construcción*, 33(3), 241-250. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000300241>.
- Grupo GEO (2021). <https://grupogeo.com.co/reflexiones-sobre-el-alcance-de-la-sustentabilidad-y-el-uso-y-reciclaje-de-los-neumaticos/>.
- Gull, K. y Gahir, J. (2020). Enhancement in mechanical properties of bitumen mix with crump rubber and waste leather of shoes as sustainable additives. (A. Publishers, Ed.) *Journal of Green Engineering*, 6133-6142.
- Hoyos Díaz, L. M., Puicon Herrera, K. D. C., & Muñoz Pérez, S. P. (2021). Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria. *Infraestructura Vial*, 23(41), 11-19. <https://doi.org/10.15517/iv.v23i41.44410>.
- Behera, H. K., Giri, D., & Das, S. S. (2020, November). Modification of Bitumen Using Sustainable Materials for Pavement Design. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 970, No. 1, p. 012022). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/970/1/012022>.
- Guerrero, E. J. L., Cuasapaz, D. P. G., & León, B. I. A. (2020). Influencia de las partículas de caucho en la resistencia a la compresión de bloques de concreto. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia*, 43(3), 134-141.
- Ma, Y., Wang, S., Zhou, H., Hu, W., Polaczyk, P., Zhang, M., & Huang, B. (2021). Compatibility and rheological characterization of asphalt modified with recycled rubber-plastic blends. *Construction and Building Materials*, 270, 121416. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121416>.
- Malagón, L. S. (2021). Viabilidad de utilización de llanta molida en mezcla de concreto. Tesis de ingeniería civil, Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de ingeniería, Cajicá, Colombia.
- Mamani, M. R. y Mamani, M. (2024). El futuro de las ciudades: Adoquines de caucho reciclado como solución a la gestión de neumáticos usados. Centro de Investigaciones & Producción Científica IDEOS E.I.R.L., Perú, Eds. [www.tecnohumanismo.online](http://www.tecnohumanismo.online).

- Mbreyaho, L., Manzi, L., Kamanzi, P., & Nizeyimana, B. (2021). Use and Influence of Tire Rubber Waste Powder in Bitumen Product. *Journal of Engineering, Project & Production Management*, 11(2). <https://doi.org/10.2478/jeppm-2021-0009>.
- Pérez, S. P. M., Valdera, J. D. V., Bustamante, J. S. A., & Paredes, R. G. (2021). El uso del caucho de neumáticos triturados y aplicados al concreto: Una revisión literaria. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1), 36-51. <https://doi.org/10.33789/talentos.8.1.142>.
- Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrepo, S. M., & Giraldo Vásquez, D. H. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 27(2), 27-50. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/911/91150559002/html/index.html>.
- Silvestre, G.A. (2019). Análisis del concreto con caucho como aditivo para aligerar elementos estructurales. Tesis de Ingeniería. Universidad Libre Seccional. Pereira, Risaralda. Colombia.
- Tasalloti, A., Chiaro, G., Murali, A., & Banasiak, L. (2021). Physical and mechanical properties of granulated rubber mixed with granular soils—a literature review. *Sustainability*, 13(8), 4309. <https://doi.org/10.3390/su13084309>.
- Vishnu, T. B., & Singh, K. L. (2021). A study on the suitability of solid waste materials in pavement construction: A review. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 14(5), 625-637. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0273-z>.
- Zarhri, Z., Martinez, W. R., Lepe, J. D., Vega-Azamar, R. E., Juarez, M. C., & Solis, B. P. (2022). 30 años de investigaciones sobre concreto con caucho (1990-2020). Un análisis bibliométrico. *Revista ALCONPAT*, 12(1), 127-142. <https://doi.org/10.21041/ra.v12i1.554>.