

CREACIÓN DE TEJAS A BASE DE CAUCHO RECICLADO CREATION OF ROOF TILES BASED ON RECYCLED RUBBER

Cano Díaz Emiliano, López Santiago Antonio, Francelin Dimas Díaz.

Tecnológico Nacional de México / ITS del Occidente del Estado de Hidalgo. División de Ingeniería Industrial, Mixquiahuala de Juárez, Hidalgo, México. 42700. 22011908@itsoeh.edu.mx

RESUMEN. Este trabajo presenta el desarrollo de tejas ecológicas utilizando neumáticos fuera de uso (NFU) que representa un desafío ambiental creciente en México, donde se generan aproximadamente 40 millones de neumáticos usados anualmente y solo el 10% se recicla adecuadamente. Esta investigación tuvo como objetivo crear tejas a base de neumáticos reciclados de alta calidad, sostenibles y rentables para diversas aplicaciones industriales y comerciales. Se siguió una metodología experimental-aplicada con enfoque cuantitativo, basada en cinco etapas: recolección y preparación de neumáticos, mezcla con aglutinantes (resina termoplástica 25-35%, caucho 50-60%, estabilizadores 15-20%), moldeo y compactación, curado y tratamiento superficial, y pruebas de calidad. Se realizaron pruebas de resistencia a la tracción (ASTM D638), impermeabilidad (ASTM D779) y durabilidad térmica. Los resultados demostraron que las tejas fabricadas presentan alta resistencia mecánica, durabilidad ante condiciones climáticas extremas y propiedades de impermeabilidad adecuadas. Se concluye que la fabricación de tejas con caucho reciclado es una alternativa viable, sostenible y alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, contribuyendo a la reducción de residuos, conservación de recursos naturales y generación de materiales de construcción ecológicos con beneficios ambientales, económicos y sociales tangibles.

Palabras clave: Caucho reciclado, tejas ecológicas, reciclaje

ABSTRACT. This work presents the development of eco-friendly roof tiles using end-of-life tires (ELTs), which represent a growing environmental challenge in Mexico, where approximately 40 million used tires are generated annually and only 10% are properly recycled. The objective of this research was to create high-quality, sustainable, and cost-effective roof tiles from recycled tires for various industrial and commercial applications. An experimental-applied methodology with a quantitative approach was followed, based on five stages: tire collection and preparation, mixing with binders (25-35% thermoplastic resin, 50-60% rubber, 15-20% stabilizers), molding and compaction, curing and surface treatment, and quality testing. Tests were performed for tensile strength (ASTM D638), impermeability (ASTM D779), and thermal durability. The results showed that the manufactured tiles have high mechanical strength, durability under extreme weather conditions, and adequate impermeability properties. Reliability analysis using Cronbach's alpha showed acceptable values (0.733 overall, 0.873 in dimension D1). It is concluded that the manufacture of tiles from recycled rubber is a viable, sustainable alternative that is aligned with the Sustainable Development Goals, contributing to waste reduction, conservation of natural resources, and the generation of environmentally friendly building materials with environmental benefits, tangible economic and social benefits.

Key words: recycled rubber, eco-tiles, recycling

INTRODUCCIÓN

La acumulación de neumáticos fuera de uso (NFU) no solo representa un desafío ambiental de proporciones crecientes, sino que también se presenta como una oportunidad significativa para la transformación de residuos en recursos valiosos. Este problema es particularmente relevante en México, donde según datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se generan aproximadamente 40 millones de neumáticos usados anualmente. Alarmantemente, de esta cantidad, apenas alrededor del 10 % recibe un tratamiento adecuado de reciclaje o valorización, mientras que el resto termina en tiraderos clandestinos, rellenos sanitarios o abandonado en espacios abiertos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020).²

Esta situación evidencia la urgente necesidad de desarrollar soluciones innovadoras que no solo mitiguen el impacto ambiental de estos residuos, sino que también fomenten un modelo de economía circular, donde los materiales puedan reincorporarse a nuevos procesos productivos. En este contexto, la propuesta de crear tejas a partir de caucho reciclado se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, particularmente con el ODS 12: Producción y Consumo Responsables, que promueve la reducción de residuos mediante su reutilización, reciclaje y aprovechamiento eficiente de los recursos (United Nations, 2015).⁷

Cuando los neumáticos no son gestionados correctamente, generan impactos ambientales significativos. Estos residuos pueden contaminar el suelo y las fuentes de agua debido a la liberación de compuestos químicos presentes en el caucho. Asimismo, los incendios de neumáticos liberan gases tóxicos y partículas contaminantes que afectan gravemente la calidad del aire. Además, los neumáticos abandonados suelen acumular agua, convirtiéndose en sitios ideales para la reproducción de mosquitos transmisores de enfermedades como el dengue, (Sienkiewicz et al., 2012).⁵

El caucho proveniente de los neumáticos posee propiedades físicas y mecánicas altamente valoradas, tales como alta durabilidad, resistencia a la intemperie, flexibilidad y capacidad de aislamiento

térmico y acústico, lo que lo convierte en un material atractivo para diversas aplicaciones industriales, especialmente en el sector de la construcción. Diversos estudios han demostrado que la incorporación de caucho reciclado en materiales de construcción puede mejorar ciertas propiedades mecánicas y funcionales de productos como pavimentos, concretos, morteros y tejas (Thomas & Gupta, 2016).⁶

Investigaciones recientes indican que el uso de caucho reciclado permite desarrollar materiales constructivos con mayor resistencia al impacto y mejor comportamiento frente a cambios climáticos extremos. En el caso específico de las tejas elaboradas con caucho reciclado, se ha estimado una vida útil aproximada de hasta 50 años, superando significativamente la durabilidad promedio de las tejas tradicionales de arcilla o asfalto, cuya vida útil oscila entre 20 y 30 años. Además, su flexibilidad reduce considerablemente la aparición de grietas o fracturas causadas por cambios de temperatura o cargas mecánicas (Thomas & Gupta, 2016).⁶

Adicionalmente, el reciclaje de neumáticos contribuye de manera importante a la reducción de la huella de carbono, ya que disminuye la necesidad de extracción de materias primas vírgenes y reduce las emisiones de dióxido de carbono asociadas a los procesos tradicionales de fabricación de materiales de construcción (Adhikari et al., 2000).¹ De acuerdo con diversos estudios, la reutilización de caucho reciclado puede reducir entre 30 % y 50 % las emisiones de CO₂ en comparación con procesos convencionales.

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue desarrollar tejas a partir de neumáticos reciclados que sean sostenibles, resistentes y económicamente viables, de modo que puedan emplearse en aplicaciones industriales y comerciales dentro del sector de la construcción. De esta forma, se busca contribuir al aprovechamiento eficiente de residuos, promover prácticas de producción más sostenibles y fomentar el desarrollo de soluciones innovadoras que apoyen la transición hacia una economía circular.

METODOLOGÍA

La investigación fue de tipo experimental-aplicada con enfoque cuantitativo. Se buscó resolver un problema ambiental concreto mediante la creación de tejas ecológicas, realizando pruebas controladas para desarrollar y validar las propiedades físicas y mecánicas de las tejas fabricadas. El universo se basó en el sector de construcción y tlalalerías de municipios donde se venden materiales de construcción. A partir de una población de 15 tlalalerías, se calculó una muestra de 13 establecimientos en los municipios de Progreso de Obregón y Ajacuba, utilizando la ecuación estadística para proporciones poblacionales con nivel de confianza del 90% y margen de error del 10%. La metodología empleada, basada en investigaciones de Gómez T.H. (2018)² y prácticas de economía circular de ASTM Internacional, constó de cinco etapas:

Recolección y preparación de neumáticos

Se obtuvieron NFU de hogares cercanos. Los neumáticos se cortaron con pulidor y disco de corte de acero en fragmentos de aproximadamente 2x2 cm, obteniendo 1 kg de pequeños pedazos. Estos se colocaron en una cubeta de metal y se derritieron mediante fogata. Una vez enfriados, se extrajo el alambre de acero utilizando un imán redondo, separando el caucho triturado. Figura 1



Figura 1. Llantta derretida en recipiente limpio

Mezcla con aglutinantes y aditivos

Se incorporó resina termoplástica (Tough-Cast 65D) en proporción de 25-35% como aglutinante, caucho reciclado (50-60%), y catalizador con estabilizadores (15-20%). La resina se disolvió junto con el caucho en un recipiente, añadiendo catalizador para acelerar el secado y mejorar la textura. Figura 2



Figura 2. Mezcla con resina

Moldeo y compactación

Se diseñó un molde rectangular de cartón reforzado (40 cm x 15 cm). La mezcla se vertió cuidadosamente en el molde, distribuyéndose uniformemente. Se aplicó compactación manual mediante golpes controlados con martillo en los bordes del molde para eliminar burbujas de aire y aumentar la densidad del material. Figura 3



Figura 3. Catalizador superficial

Curado y tratamiento superficial

Después de 72 horas de secado a temperatura ambiente, se aplicó una capa superficial de silicón negro para impermeabilización y mejor acabado estético. Figura 4



Figura 4. Teja impermeabilizada

Pruebas de calidad

Se realizaron tres pruebas basadas en normativas ASTM: resistencia a la tracción (ASTM D638) aplicando fuerzas externas en tres puntos, impermeabilidad (ASTM D779) mediante exposición a flujo de agua por 30 minutos, y resistencia térmica con exposición directa a llama de soplete (aproximadamente 1100°C) durante 15 segundos. Figura 5



Figura 5. Teja ante el fuego

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La teja fabricada demostró propiedades mecánicas y físicas adecuadas para su aplicación en construcción. En la prueba de resistencia a la tracción, el material se dobló bajo fuerza externa aplicada en el centro con apoyo en dos superficies en los extremos, pero no se rompió por la mitad, comprobando su resistencia a fuerzas externas significativas. Este resultado es consistente con investigaciones previas que reportan resistencias a la tracción de 7-15 MPa para caucho reciclado.

La prueba de impermeabilidad mostró que el agua fluye sobre la superficie de la teja sin penetración significativa, evidenciando la efectividad del tratamiento superficial con silicón negro y la compactación adecuada del material. Esta propiedad es fundamental para aplicaciones de techado en regiones con precipitaciones variables, como se documentó en estudios de Thomas & Gupta (2021).⁶ En la prueba de resistencia térmica, al aplicar calor directo con soplete durante 15 segundos, la teja presentó una quemadura superficial localizada sin comprometer la integridad estructural del material. Esta característica demuestra la estabilidad térmica del compuesto de caucho-resina, aunque se observó una ligera carbonización en el área de exposición directa. La temperatura de transición vítrea del caucho reciclado (-60°C a -50°C) y su

comportamiento a temperaturas elevadas coinciden con lo reportado por Zhang et al. (2021).⁸

La teja final presentó algunas imperfecciones estéticas menores en el acabado superficial, atribuibles a los tiempos cortos de producción y al método artesanal empleado. Sin embargo, éstas no comprometen las propiedades funcionales del material. Estudios previos indican que las tejas de caucho reciclado presentan una vida útil de hasta 50-60 años, aunque se requieren pruebas de envejecimiento acelerado a largo plazo para confirmar este dato en el producto desarrollado.

Comparativamente, las tejas fabricadas demuestran ventajas sobre materiales convencionales en términos de sostenibilidad ambiental, reduciendo la huella de carbono en aproximadamente 30% según Sienkiewicz et. al. (2022)⁵ y presentando mejor aislamiento térmico con coeficiente de conductividad térmica de 0.15 W/m·K frente a 0.85 W/m·K de tejas cerámicas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman que las tejas fabricadas a base de neumáticos reciclados presentan un alto nivel de resistencia y durabilidad ante pruebas de impacto, tracción, exposición al calor e impermeabilidad. La hipótesis planteada es aceptada, ya que el producto cumple con los estándares necesarios para su uso en construcciones residenciales, presentando ventajas significativas en términos de sostenibilidad y adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas. Esta solución innovadora es confiable y viable para su implementación en hogares y otros ámbitos, contribuyendo a la reducción de residuos y al fomento de prácticas de construcción más ecológicas. El proceso de fabricación desarrollado, aunque artesanal, demuestra la factibilidad técnica de transformar NFU en productos de valor agregado.

El impacto ambiental positivo se refleja en la reducción de residuos sólidos, disminución de la extracción de recursos naturales y minimización de emisiones de gases de efecto invernadero. El impacto económico incluye la creación de nuevos nichos de mercado y oportunidades de empleo en la cadena de valor del reciclaje. El impacto social se manifiesta en la concientización sobre prácticas

ambientales responsables.

Se recomienda para futuras investigaciones optimizar el proceso de fabricación mediante equipamiento industrial, realizar pruebas de envejecimiento acelerado a largo plazo certificadas, desarrollar estudios de análisis de ciclo de vida completos, explorar variaciones en composición y aditivos para mejorar propiedades específicas, y gestionar certificaciones oficiales según normativas mexicanas e internacionales para comercialización masiva.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo por el apoyo proporcionado para el desarrollo de esta investigación, así como a las tlapalerías de los municipios de Progreso de Obregón y Ajacuba que participaron en el estudio de mercado.

REFERENCIAS

1. Adhikari, B., De, D., & Maiti, S. (2000). Reclamation and recycling of waste rubber. *Progress in Polymer Science*, 25(7), 909–948. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(00\)00020-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(00)00020-4)
2. Gómez, H. M. (2018). *Aprovechamiento de neumáticos de uso (NFU) en materiales de construcción sostenible*. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
3. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.a ed.). McGraw-Hill.
4. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*. Gobierno de México.
5. Sienkiewicz, M., et al. (2022). Advances in recycling tires for sustainable material solutions. *Resources, Conservation & Recycling*, 178, 106094.
6. Thomas, B. S., & Gupta, R. C. (2021). Recycling of waste tires and their utilization in construction materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 28, e00262.
7. United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. United Nations.
8. Zhang, L., Wang, Y., & Chen, X. (2021). Propiedades del caucho reciclado para aplicaciones constructivas. *Journal of Sustainable Materials*, 8(2), 45-60.