



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2025,
Volumen 9, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

CARACTERIZACIÓN DE CAUCHO RECICLADO ALTERNATIVA DE MATERIA PRIMA EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

CHARACTERIZATION OF ALTERNATIVE RECYCLED RUBBER RAW MATERIAL IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Roberto Martín UrzuaRangel

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Leticia Santa Olalla Ocampo

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Rosember Ovando Castelar

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Enrique de Jesús Moreno Carpintero

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

José Ángel Sandoval Erazo

Tecnológico Nacional de México / IT de Zacatepec

Caracterización de caucho reciclado alternativa de materia prima en la industria automotriz

Roberto Martín UrzuaRangel¹

roberto.ur@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0006-9267-6834>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec,
Morelos, C.P. 62780, México.

Leticia Santa Olalla Ocampo

leticia.os@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0009-9720-9313>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec,
Morelos, C.P. 62780, México.

Rosember Ovando Castelar

rosember.oc@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1491-7437>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec,
Morelos, C.P. 62780, México.

Enrique de Jesús Moreno Carpintero

enrique.mc@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-5472-1503>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec,
Morelos, C.P. 62780, México.

José Ángel Sandoval Erazo

L21090859@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0001-7849-3410>

Tecnológico Nacional de México / IT de
Zacatepec

Av. Tecnológico No. 27, Col. Centro, Zacatepec,
Morelos, C.P. 62780, México.

RESUMEN

El caucho tiene diversas aplicaciones y un elevado consumo en la industria, principalmente en la fabricación de neumáticos. Su uso genera un problema ambiental al finalizar su vida útil.(Farfán et al., 2018). Este artículo presenta una propuesta para el reciclaje del caucho desechado de los neumáticos. El objetivo es tener caucho reciclado como materia prima (Criollo Salamea, 2014) con las propiedades a semejanza del caucho sintético virgen. Esta propuesta presenta pruebas con caucho reciclado al 100%, a diferencia de los estudios actuales que mezclan resinas con diferentes porcentajes de caucho. Para prolongar la vida útil de este caucho reciclado, se llevó a cabo el proceso de triturar el caucho en desuso hasta alcanzarel tamiz número 30. Luego se mezcló con un acelerador, óxido de zinc y azufre, lo que permitió el proceso de vulcanizado. Para caracterizarlo, se realizaron pruebas de dureza y de esfuerzo de compresión. Los resultados de estas pruebas son clave para optimizar la producción y las propiedades del producto reciclado, que se reutilizara como componente de calidad en la industria automotriz,generando beneficios como ahorro energético, la disminución del consumo de agua y fomento de la sostenibilidad ambiental.(Cruz et al., 2024).

Palabras clave: neumáticos reciclados, propiedades mecánicas, caucho

¹ Autor principal.

Correspondencia: leticia.os@zacatepec.tecnm.mx

Characterization of Alternative Recycled Rubber Raw Material in the Automotive Industry

ABSTRACT

Rubber has various applications and a high consumption in industry, mainly in the manufacture of tires. Its use generates an environmental problem at the end of its useful life. (Farfán et al., 2018). This article presents a proposal for the recycling of discarded rubber from tires. The objective is to have recycled rubber as a raw material (Criollo Salamea, 2014) with properties similar to virgin synthetic rubber. This proposal features tests with 100% recycled rubber, unlike current studies that mix resins with different percentages of rubber. To extend the useful life of this recycled rubber, the process of crushing the disused rubber until it reached the 30th sieve. It was then mixed with an accelerator, zinc oxide and sulfur, which allowed the vulcanization process. To characterize it, hardness and compressive stress tests were performed. The results of these tests are key to optimize the production and properties of the recycled product, which will be reused as a quality component in the automotive industry, generating benefits such as energy savings, reduction of water consumption and promotion of environmental sustainability. (Cruz et al., 2024).

Keywords: recycled tires, mechanical properties, rubber

Artículo recibido: 10 marzo 2025

Aceptado para publicación: 15 abril 2025



INTRODUCCIÓN

El caucho es un material con una variedad de aplicaciones, y es un material de elevado consumo en la industria a nivel global (Mayer et al., 2024). Sin embargo, está alta demanda de caucho en la fabricación de llantas de acuerdo a datos oficiales del INEGI (2021) y el mercado mexicano de llantas mueve alrededor de 6 millones de unidades al año, con un valor estimado de más de 2.5 mil millones de dólares. De acuerdo a ANDELLAC el consumo de importación de llantas a finales del mes de julio del año del 2024 es cerca de 44.1 millones de unidades (*Revista ANDELLAC | Noviembre-Diciembre | No. 165 by ANDELLAC - Issuu*, n.d.)

Se espera que el tamaño del mercado de caucho reciclado y fibras sintéticas experimente un fuerte crecimiento en los próximos años. Crecerá hasta los 544.500 billones de dólares en 2029 a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 6.1 %. El crecimiento en el período de pronóstico se puede atribuir a los materiales sostenibles, la fabricación avanzada, la creciente adopción de vehículos eléctricos (*Rubber Products Market Report 2025 - Growth Opportunities and Trends*, n.d.).

El uso de caucho en neumáticos genera un problema cuando su uso de vida útil termina (Mayer et al., 2024) y se convierte en una amenaza contra el medio ambiente (Peláez Arroyave et al., 2017). La mayoría de las llantas en desuso después de haber terminado el propósito original previsto se concentran en tiraderos clandestinos donde la cantidad es un volumen de consideración significativa, que se convierte en un foco de infección local donde se crea mosquitos a los cuales se les atribuye que son transmisores de varias enfermedades, así como la proliferación de otros elementos de fauna nociva y solo un mínimo porcentaje se recicla para crear nuevos productos .

La combinación de otros materiales con el caucho, formando un material compuesto, ayuda a reforzar la matriz interna de nuestro nuevo material. Por su parte, el caucho se ha reutilizado en los últimos años debido a la gran contaminación que causa, es por ello, que el buscar nuevas mezclas y/o combinaciones nos ayudará a reducir dicha contaminación, y así mismo a reforzar materiales buscando nuevas aplicaciones (Espín Lagos et al., 2018; *Vista de Aplicaciones de Caucho Reciclado_ Una Revisión de La Literatura.Pdf*, n.d.)

El ensayo en cuestión se basa en la caracterización del caucho reciclado para ver cómo se comporta. Y determinar su uso como materia prima en refacciones automotrices (Carpio Orellana & Villamar



Escalante, 2021). El producto desarrollado de este trabajo de investigación es gomas de impacto para ser usadas como refacción de motocicletas.

Con esta opción consideramos que se deben reutilizar los elementos que, por sus propiedades, no pueden volver al medio ambiente y activar la economía circular (*International Rubber Study Group - Home*, n.d.). En la actualidad las motocicletas son un medio de transporte muy utilizado debido a las ventajas económicas y características de tamaño. Este medio de transporte utiliza las gomas de impacto para el ring de la llanta trasera proporcionando la estabilidad y control del vehículo. Así mismo las gomas de impacto es una refacción que se desgasta por arranque con mucha potencia rápida, aceleraciones impetuosas, la vida útil de esta refacción varía desde un mes hasta un año según el tipo de uso y esta refacción es producida actualmente por comercializadoras de caucho sintético de primer uso.

METODOLOGÍA

Las propiedades mecánicas muestran el comportamiento del material, al aplicar fuerzas/cargas externas hasta un instante determinado, las cuales son evaluadas mediante ensayos específicos.

En este desarrollo experimental se realizó ensayos en los que se pueda cuantificar las propiedades mecánicas del material (caucho en desuso). Con los resultados obtenidos de los ensayos de esfuerzo de compresión y dureza se realizaron las gráficas de las figuras 6 y 7, que muestran el comportamiento del caucho para cada composición (tabla 1), que permiten el análisis de datos que describen el comportamiento mecánico.

Preparación de los elementos para los ensayos.

De las llantas en desuso se separan los componentes y se recupera el caucho y se tritura hasta el tamiz número 30, para obtener la materia prima para el desarrollo de esta investigación.

Se diseñó y construyó un molde metálico de acero H-13 (figura 1) con las medidas de diámetro de 12.70 mm y de longitud 25.4 mm como se observa en la figura 3 especificadas por la norma ASTM D2240 (ASTM International, 2021) y ASTM D695 (ASTM International, 2015), para fabricar las muestras sujetas a las pruebas mecánicas, se pesa con una balanza analítica ADAM PW 254 el acelerador, óxido de zinc y azufre (figura 2) y se mezclan. Aplicándole una capa de silicona al molde para ser colada la mezcla, se somete a presión de 4 Mpa y a 160°C de temperatura para realizar el vulcanizado (Saikat Das G., Rabindra M., Krishna C. Baranwal, 2014).



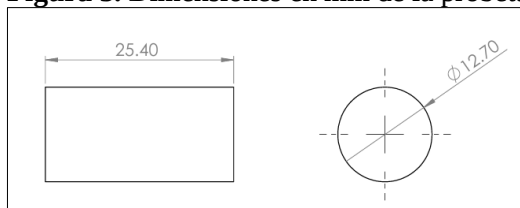
Figura 1. Molde para muestras.



Figura 2. Pesar en la balanza del contenido de la muestra.



Figura 3. Dimensiones en mm de la probeta para ensayo a compresión.



En la prueba mecánica de compresión se utilizó la máquina universal INSTRON del laboratorio mecánico del Instituto Tecnológico de Zacatepec (figura 4). Las pruebas de dureza se realizaron usando el durómetro Shore A (figura 5).

Figura 4. Máquina universal del laboratorio Mecánico



Figura 5. Durómetro Shore A ASTM2240



Ensayos de pruebas mecánicas.

Las muestras elaboradas son conforme a la norma ASTM D 695-15 para ensayos de compresión y la norma ASTM D2240-05 para medir la dureza shore A, de las cuales se elaboraron composiciones con porcentajes de 5, 4 y 3 de zinc. Con cada mezcla se realizó tres muestras (tabla 1).

Tabla 1. Formulaciones de las muestras

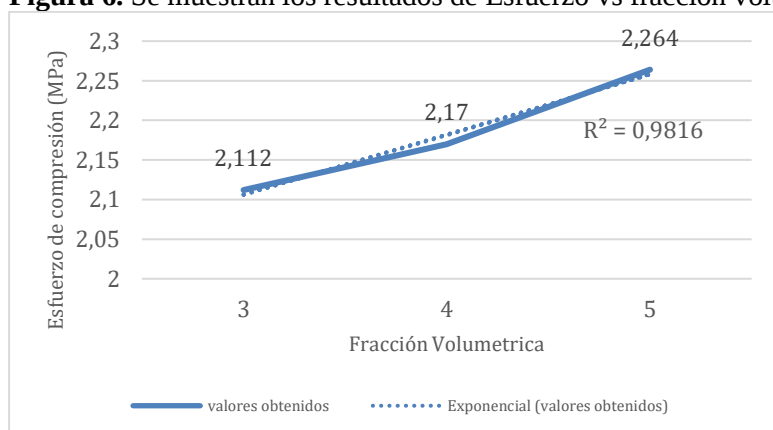
mezcla	% de azufre	% de zinc	% $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	% MBT	Caucho reciclado
A	2	3	2	3	100
B	2	4	2	3	100
C	2	5	2	3	100

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la prueba de Compresión.

En el ensayo de la prueba de compresión las probetas fueron colocadas entre dos plataformas de la máquina universal INSTRON, la carga fue aplicada a 100 mm de desplazamiento y a una velocidad de deformación constante de 10 mm/min, bajo la norma ASTM D695-15. En la figura 6, se muestran los resultados de este ensayo para cada composición.

Figura 6. Se muestran los resultados de Esfuerzo vs fracción volumétrica.



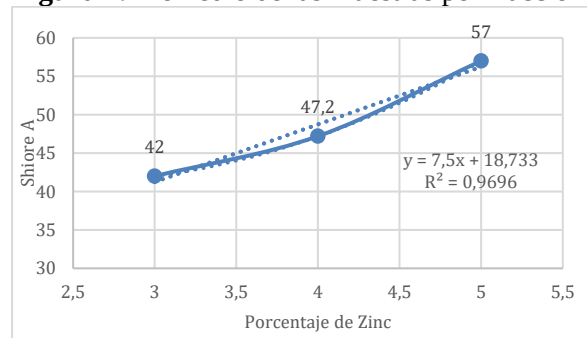
Se puede observar en la figura 6 que la resistencia a la compresión del caucho reciclado al incrementar la fracción volumétrica del zinc aumenta el esfuerzo de compresión. En la práctica como un estándar se utiliza el 5% de zinc para vulcanizar (Saikat Das G., Rabindra M., Krishna C. Baranwal, 2014). Además, se puede observar en la figura 6 que el comportamiento de los valores correlacionados obtenidos es lineal y su cercanía a la medida estadística R^2 , que tiene un valor de 0.9816.

Caracterización de la prueba de Dureza.

Con las composiciones de las mezclas de la tabla 1 se determinó la dureza del caucho reciclado con valores entre 42 y 57, siendo el valor más bajo para 3% y el más alto el de 5% de valor volumétrico de zinc, se infiere que a menor cantidad de zinc la dureza es menor.

La prueba realizada en la medición de la dureza inferiores al 50 nos indica que el caucho reciclado obtenido es suave de acuerdo a la clasificación publicada por Das Gupta (*Rubber Products Market Report 2025 - Growth Opportunities and Trends*, n.d.) quien recomienda que la dureza debe de ser un valor superior a 50 de acuerdo a la medición Shore A. En la figura 7 se observa que con el 5% de zinc se obtiene el valor esperado.

Figura 7. Promedio de las muestras por fracción volumétrica



CONCLUSIONES

En esta investigación se llevaron a cabo pruebas para analizar el comportamiento mecánico de dureza y compresión del caucho reciclado de neumáticos, utilizando tres diferentes concentraciones de zinc. Los resultados obtenidos mostraron que tanto la resistencia a la compresión como la dureza Shore A aumentan con el incremento del contenido de zinc. A partir de las propiedades mecánicas obtenidas en nuestro trabajo, nos arroja que el material con un 5% de fracción volumétrica ofrece el mejor rendimiento. Con esta mezcla, se pudo diseñar una pieza de repuesto para motocicletas: la goma de impacto que se coloca en la masa del rin de la llanta trasera. Aunque la composición del caucho reciclado

para esta goma de impacto ha demostrado características similares a las de una goma comercial o fabricada con caucho nuevo, aún es necesario realizar pruebas de rendimiento en una motocicleta que nos demuestren la efectividad de nuestro material.

Las investigaciones realizadas nos da la vertiente de lo que se trabajó tanto en el presente como en el futuro, beneficiará en la movilidad automotriz, por ello estamos comprometidos con el suministro de compuestos necesarios para el desarrollo de vehículos tanto de combustión como eléctricos o de energías alternativas cuya creciente demanda es una realidad impulsada por la Agenda 2030 de la ONU (*La Asamblea General Adopta La Agenda 2030 Para El Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible*, n.d.). El costo del caucho reciclado puede llegar a ser menor de la mitad de lo que cuesta el caucho virgen, sea natural o sintético (Peláez Arroyave et al., 2017).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento para desarrollar este proyecto de investigación y al Instituto Tecnológico de Zacatepec por las facilidades prestadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM International. (2015). *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*.
- ASTM International. (2021). *Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness*.
- Carpio Orellana, M. W., & Villamar Escalante, E. G. (2021). *Estudio de las propiedades mecánicas en la base del motor de un automóvil usando mezclas de caucho reciclado con azufre*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20272>
- Criollo Salamea, A. X. (2014). *Caracterización de caucho reciclado proveniente de SCRAP y de neumáticos fuera de uso para su potencial aplicación como materia prima*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6770>
- Cruz, J. M. C. la, Rodríguez-Lazcano, Y., Batista-Rodríguez, C. R., Peralta-Abarca, J. del C., Huerta, A. O., & Ugás, A. J. (2024). Aportes de partículas de caucho de neumáticos reciclados a mezclas de concreto y aplicaciones. *Tendencias En Energías Renovables y Sustentabilidad*, 3(1), 221–225. <https://doi.org/10.56845/TERYS.V3I1.295>
- Espín Lagos, S. M., Guamanquispe, J., Acosta, C., Jara Olmedo, A., León, G., & Sevilla, M. (2018).



Caracterización Del Material Compuesto De Resina Poliester Con Partículas De Caucho Reciclado Y Su Aplicabilidad En Carrocerías. *Ciencia Digital*, 2(2), 47–61.

<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i2.72>

Farfán, M., Leonardo, E., 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://doi.org/10.4067/S0718-50732018000300241>

International Rubber Study Group - Home. (n.d.). Retrieved March 31, 2025, from

<https://www.rubberstudy.org/welcome>

La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible.

(n.d.). Retrieved April 3, 2025, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

Mayer, P. M., Moran, K. D., Miller, E. L., Brander, S. M., Harper, S., Garcia-Jaramillo, M., Carrasco-Navarro, V., Ho, K. T., Burgess, R. M., Thornton Hampton, L. M., Granek, E. F., McCauley, M., McIntyre, J. K., Kolodziej, E. P., Hu, X., Williams, A. J., Beckingham, B. A., Jackson, M. E., Sanders-Smith, R. D., ... Mendez, M. (2024). Where the rubber meets the road: Emerging environmental impacts of tire wear particles and their chemical cocktails. *Science of The Total Environment*, 927, 171153. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.171153>

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://doi.org/10.18359/RCIN.2143>

Revista ANDELLAC | Noviembre-Diciembre | No. 165 by ANDELLAC - Issuu. (n.d.). Retrieved March 31, 2025, from https://issuu.com/andellac_ac/docs/revista-andellac-noviembre-diciembre-165

Rubber Products Market Report 2025 - Growth Opportunities and Trends. (n.d.). Retrieved March 31, 2025, from <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/rubber-products-global-market-report>

Saikat Das G., Rabindra M., Krishna C. Baranwal, A. K. B. (2014). *REVERSE ENGINEERING OF RUBBER PRODUCTS*. CRC.

Vista de Aplicaciones de caucho reciclado_ Una revisión de la literatura.pdf. (n.d.).

