



**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2024,  
Volumen 8, Número 1.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i1](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1)

# **ANÁLISIS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE PIEZAS FABRICADAS CON CAUCHO RECICLADO**

## **CLINICAL REVIEW OF VARIANTS OF GUILLAIN-BARRE**

**Nallely Yeraldhy Carreón Saucedo**

TECNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, México

**Israel Medina Juárez**

TECNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, México

**María Magdalena Reyes Gallegos**

TECNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, México

**Araceli Maldonado Reyes**

TECNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, México

**Ricardo Daniel López García**

TECNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, México

## Análisis de Propiedades Mecánicas de Piezas Fabricadas con Caucho Reciclado

**Nallely Yeraldhy Carreón Saucedo<sup>1</sup>**

[M22380004@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:M22380004@cdvictoria.tecnm.mx)  
<https://orcid.org/0009-0009-8207-804X>

TECNM/Instituto Tecnológico  
de Ciudad Victoria  
México

**Israel Medina Juárez**

[israel.mj@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:israel.mj@cdvictoria.tecnm.mx)  
<https://orcid.org/0000-0001-8633-8157>

TECNM/Instituto Tecnológico  
de Ciudad Victoria  
México

**María Magdalena Reyes Gallegos**

[maria.rg@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:maria.rg@cdvictoria.tecnm.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-0080-8902>

TECNM/Instituto Tecnológico  
de Ciudad Victoria  
México

**Araceli Maldonado Reyes**

[araceli.mr@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:araceli.mr@cdvictoria.tecnm.mx)  
<https://orcid.org/0000-0003-3585-8034>

TECNM/Instituto Tecnológico  
de Ciudad Victoria  
México

**Ricardo Daniel López García**

[ricardo.lg@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:ricardo.lg@cdvictoria.tecnm.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-2662-6103>

TECNM/Instituto Tecnológico  
de Ciudad Victoria  
México

### RESUMEN

Los neumáticos fuera de uso representan un grave problema a nivel mundial por contaminación ambiental y de salud pública. Actualmente, en México se desechan cada año en vertederos y tiraderos clandestinos cerca de 40 millones de neumáticos, de los cuales la mayoría son quemados o acumulados a cielo abierto y solo un bajo porcentaje es tratado y reciclado adecuadamente para ser utilizado posteriormente en la fabricación de productos. En el estado de Tamaulipas, México con los métodos tradicionales de gestión y tratamiento de neumáticos se está generando problemas medioambientales afectando el suelo, aire y el agua. Por lo tanto, es necesario considerar métodos sostenibles de recolección, tratamiento y eliminación de neumáticos de desecho para contribuir a la disminución en la contaminación ambiental. La presente investigación presenta un estudio de viabilidad en la producción de topes de estacionamiento y tejas para casa con el objetivo principal de motivar a la industria de manufactura en Tamaulipas para incursionar en otros mercados viables y económicamente atractivos, como lo es el reciclaje de caucho para la fabricación de piezas para el mercado nacional. El granulado de caucho utilizado fue de 3 y 1 mm, mientras que el porcentaje de resina como aglutinante fue de (10, 15, 20, 25 y 30 %). El estudio involucra la medición de la resistencia a la compresión y la caracterización mediante un microscopio estereoscópico del tipo de unión de la mezcla. Los resultados demuestran que, a mayor contenido de resina y menor tamaño de partícula, se presentan la resistencia a la compresión más elevadas.

**Palabras clave:** caucho reciclado, neumáticos fuera de uso, contaminación ambiental, resistencia a la compresión

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [israel.mj@cdvictoria.tecnm.mx](mailto:israel.mj@cdvictoria.tecnm.mx)

# Analysis of Mechanical Properties of Parts Manufactured with Recycled Rubber

## ABSTRACT

Out-of-use tires represent a serious problem worldwide due to environmental pollution and public health. Currently, in Mexico, nearly 40 million tires are discarded each year in landfills and clandestine dumps, of which the majority are burned or accumulated in the open air and only a low percentage is treated and recycled properly to be used later in the manufacture of tires. products. In the state of Tamaulipas, Mexico, traditional tire management and treatment methods are generating environmental problems affecting the soil, air and water. Therefore, it is necessary to consider sustainable methods of collection, treatment and disposal of waste tires to contribute to the decrease in environmental pollution. The present research presents a feasibility study in the production of parking bumpers and house tiles with the main objective of motivating the manufacturing industry in Tamaulipas to venture into other viable and economically attractive markets, such as the recycling of rubber for manufacturing parts for the national market. The rubber granulation used was 3 and 1 mm, while the percentage of resin as a binder was (10, 15, 20, 25 and 30%). The study involves the measurement of the compressive strength and the characterization using a stereoscopic microscope of the type of joint of the mixture. The results show that the higher the resin content and the smaller the particle size, the higher the compressive strength.

**Keywords:** recycled rubber, out-of-use tires, environmental pollution, compression resistance

*Artículo recibido 22 diciembre 2023  
Aceptado para publicación: 24 enero 2024*



## INTRODUCCIÓN

El destino final de los residuos sólidos urbanos (RSU) y el posterior reciclaje representan un grave problema que afectan el medio ambiente, la salud pública y el desarrollo económico. En los últimos años el reciclaje de neumáticos se ha convertido en uno de los RSU más complejos en su disposición por lo que es considerado dentro de los principales desafíos a nivel mundial (Fazli y Rodrigue, 2020; Adhikari y col, 2000). Sólo los neumáticos de desecho representan más del 12% de todos los residuos sólidos del mundo, y debido a que no son biodegradables y sus propiedades fisicoquímicas se han convertido en materiales difíciles de eliminar, haciéndolos resistente a muchos factores externos cuando se depositan en vertederos, provocando un alto riesgo a la salud y al medio ambiente (Siddika y col, 2018; Derakhshan y col, 2017; Stevenson y col, 2008). Así mismo, los neumáticos de desecho son también susceptibles a infecciones peligrosas causadas por la contaminación del aire, los recursos hídricos y del suelo (Cotana y col, 2019). Además, en lugares con altas temperaturas y condiciones de alta humedad, incrementa la posibilidad de propagarse la presencia de mosquitos, y otros insectos portadores de enfermedades como dengue, malaria, enfermedades de la piel, trastornos respiratorios, y la salud en general (Fadiel y col, 2014; Fiksel y col, 2011).

Con el incremento en la demanda de neumáticos en el mundo aunado a la complejidad de su reciclaje y su naturaleza química no biodegradable, se pronostica que, en pocos años, los vertederos se convertirán en una alternativa inviable para la gestión de residuos de neumáticos. Lo anterior muestra el grave problema de contaminación por llantas de desecho que está presente en muchos países del mundo, acentuándose en los países en vías de desarrollo y no desarrollados. Por lo anterior, es urgente contar con regulaciones sobre el reciclaje de neumáticos de desecho, la disposición de estos residuos en vertederos, el manejo sustentable, la implementación de procesos efectivos en el tratamiento de llantas para la generación de energía y su reutilización para la fabricación de productos (Hejna y col, 2020; Mohajerani y col, 2020).

Aunque en la mayoría de los países del mundo, la acumulación excesiva y descontrolada de neumáticos fuera de uso es considerado un grave problema medio ambiental y de salud pública; actualmente no existe una respuesta satisfactoria para controlar este problema por parte del sector industrial, por lo que el reciclaje de llantas de desecho se ha convertido en un negocio potencialmente rentable y en

crecimiento en la última década, aunque aún sin ser explotado adecuadamente (Zaman A U, 2016). Por tal motivo, muchos gobiernos y organizaciones ambientalistas alrededor del mundo han promovido y establecido regulaciones ambientales sobre el manejo, recuperación y disposición final de llantas de desecho que impacten positivamente el reciclaje del caucho y el cuidado del medio ambiente (Ruwona y col, 2019; Malyshkov y col, 2019). En este sentido, el continente europeo ocupa el primer lugar en reciclaje de neumáticos de desecho, y donde estos países ya cuentan con normativas y organizaciones dedicadas a la gestión de neumáticos fuera de uso. Es importante resaltar que la efectividad y éxito de la normativa se ha debido a la participación de todos los actores involucrados (fabricantes, importadores, industrias dedicadas a la recaudación, consumidores y gobiernos de cada país (Gigli y col, 2019).

La fuerte demanda de producción mundial de neumáticos está influenciada por factores tales como el crecimiento de la población, el desarrollo de la mayoría de las economías del mundo y, el sostenible desarrollo del sector automotriz (Alfayez y col, 2020), la cual representa más del 75% de la producción mundial de caucho, de estos cerca del 60% se utiliza para la fabricación de neumáticos para vehículos y camiones (Masri y col, 2023), el restante aproximadamente 15%, se utiliza en la producción de piezas automotrices, como mangueras, molduras, sellos, entre otros (Shulman, 2019). De acuerdo con varios investigadores (Chen y col, 2022; Sitepu y col, 2020; Roychand y col, 2020), en los últimos 10 años la producción mundial de neumáticos ha crecido de manera exponencial. Actualmente, la fabricación de neumáticos supera los 3,3 mil millones de piezas por año y se pronostica un aumento en el orden de 4,1 mil millones al año 2028. Europa, Asia y América del Norte son los mayores consumidores de neumáticos para automóviles con más del 75% de la producción mundial. Los países que más neumáticos consumieron en 2022 fueron Estados Unidos y China con 450 y 320 millones de neumáticos respectivamente (Ramarad y col, 2015). Por otro lado, en México el consumo de llantas registrado en 2020 fue de aproximadamente de 7 millones para automóviles particulares [Arciniega y col, 2023].

El incremento de vertederos clandestinos en el mundo ha representado un grave problema de contaminación ambiental e importantes desafíos tecnológicos y científicos para su control. Para frenar los problemas causados por el desperdicio excesivo de neumáticos de desecho, es necesario adoptar estrategias apropiadas de gestión de residuos debido al el crecimiento de neumáticos de desecho

generados anualmente. Por lo tanto, las investigaciones sobre estrategias tecnológicas y de investigación, relacionadas con el desarrollo sostenible en la eliminación y reciclaje de neumáticos de desecho están suficientemente justificadas (Formela, 2021; Dabic-Miletic y col, 2021). Los neumáticos de desecho obtenidos de automóviles y camiones representan la mayor fuente de caucho de desecho del mundo. Para reducir los problemas generados por las llantas de desecho, un número importante de países en el mundo están utilizando diversos métodos eficientes en la reutilización del caucho debido a sus propiedades como (baja densidad, maleabilidad, resistencia a golpes y temperaturas moderadas) (Khan y col, 2020), y donde las aplicaciones en la ingeniería, la generación de energía y la transformación en productos es muy amplia.

Hoy en día es importante ver los residuos de neumáticos fuera de uso no sólo como un problema medioambiental y de salud pública exclusivo, sino también como una valiosa materia prima con un prometedor futuro empresarial (Saleh y Gupta, 2014; Labaki y Jeguirim, 2017). La gestión y tratamiento de residuos de neumáticos fuera de uso, así como la mejora de las condiciones ambientales, se encuentran entre las preocupaciones y temas de investigación más importantes para los negocios sostenibles. El caucho reciclado es la materia prima más utilizada para el posterior procesamiento de piezas terminadas o semiacabadas con una amplia aplicación industrial, el caucho reciclado de neumáticos además de las aplicaciones mencionadas anteriormente se utiliza en productos agrícolas, aplicaciones recreativas y deportivas, en además de muchas aplicaciones en ingeniería (Abdul-Kader y Haque, 2011; Araujo-Morera y col, 2019; Symeonides y col, 2019).

Según datos de (INEGI 2020), en México, de 2010 a 2020, la matrícula de vehículos y camionetas aumentó de 31 millones a 51 millones de unidades, lo que representa un crecimiento promedio de 6.4% anual, y si continua esta tendencia para el año 2030 se tendrían en circulación más de 83.5 millones de vehículos, lo anterior expone el inevitable aumento de la cantidad de llantas de desecho en vertederos, almacenes o lugares clandestinos. Lo anterior demuestra que México enfrentará importantes desafíos relacionados con la disposición de llantas de desecho tanto para contribuir a mejorar las perspectivas y condiciones del cambio climático a nivel mundial como también para ingresar a nuevos mercados de negocios en el reciclaje de llantas.



Por lo tanto, el objetivo de este estudio es realizar una evaluación de las propiedades mecánicas de caucho granulado a partir de neumáticos fuera de uso con adiciones de diferentes concentraciones de aglutinantes, con la finalidad de evaluar sus características mecánicas para la fabricación posterior de productos. Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran la viabilidad para la incursión a mercados de reciclaje que favorezcan la economía circular del país.

## METODOLOGÍA

El estudio experimental realizado tuvo como objetivo determinar la relación que guarda la resistencia mecánica a la compresión de un material compuesto por triturado de llantas recicladas y una resina a base de poliuretano comercial especialmente diseñada para aglutinar granulados de hule (EPDM). El desarrollo experimental consiste en formar un compuesto de una mezcla en diferentes proporciones del aglutinante y de granulado de llanta reciclada con dos tamaños de grano disponibles, 1mm y 3mm, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composición de probetas fabricadas

Nombre de la probeta	% aglutinante	Tamaño de grano (mm)
30RFG	30	1
25RFG	25	1
20RFG	20	1
15RFG	15	1
25RCG	25	3
20RCG	20	3
15RCG	15	3
10RCG	10	3

Las mezclas fueron vaciadas en moldes metálicos de forma cilíndrica de 12 cm de longitud y 6 cm de diámetro, una vez vaciadas las mezclas el tiempo de fraguado fue de 48 horas. Para los ensayos de compresión se utilizó una velocidad de deformación constante de 100 mm por minuto para determinar la resistencia última obtenida y el comportamiento del módulo elástico, las pruebas se llevaron a cabo en una máquina de ensayos universales AG-X de la marca Shimadzu, ver Figura 1. La morfología y el tipo de unión de las partículas de caucho antes y después de los ensayo a la compresión fueron obtenidas mediante un microscopio estereográfico.

**Figura 1.** Realización de pruebas a compresión en Máquina de ensayos universales Shimadzu.

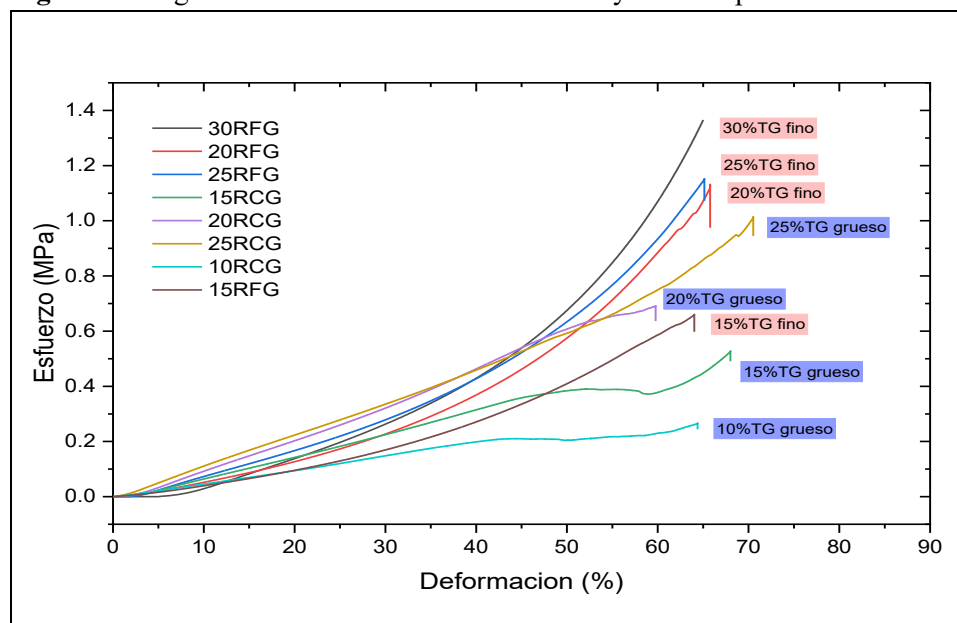


## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos son mostrados a través de graficas de las curvas esfuerzo-deformación a la compresión mostradas en la Figura 2. Se puede observar una clara relación entre el tamaño de la partícula de caucho y la resistencia última a la compresión de las diferentes probetas ensayadas, demostrando que la resistencia a la compresión aumenta con tamaños de partícula más pequeños, este experimento consiste en partículas de caucho molido pasadas por tamices de 1 y 3 mm respectivamente. Además, se puede observar que el porcentaje de aglutinante de poliuretano utilizado también aumenta la resistencia a la compresión del material obtenido. Cabe señalar que el módulo elástico de la parte inicial en las curvas esfuerzo-deformación incrementa con el aumento del porcentaje de aglutinante añadido a la mezcla y se puede observar que al comparar entre los tamaños de partícula con una misma proporción de aglutinante es para el tamaño de grano más grande el que ofrece valores del módulo elástico mayores (ver Tabla 2).



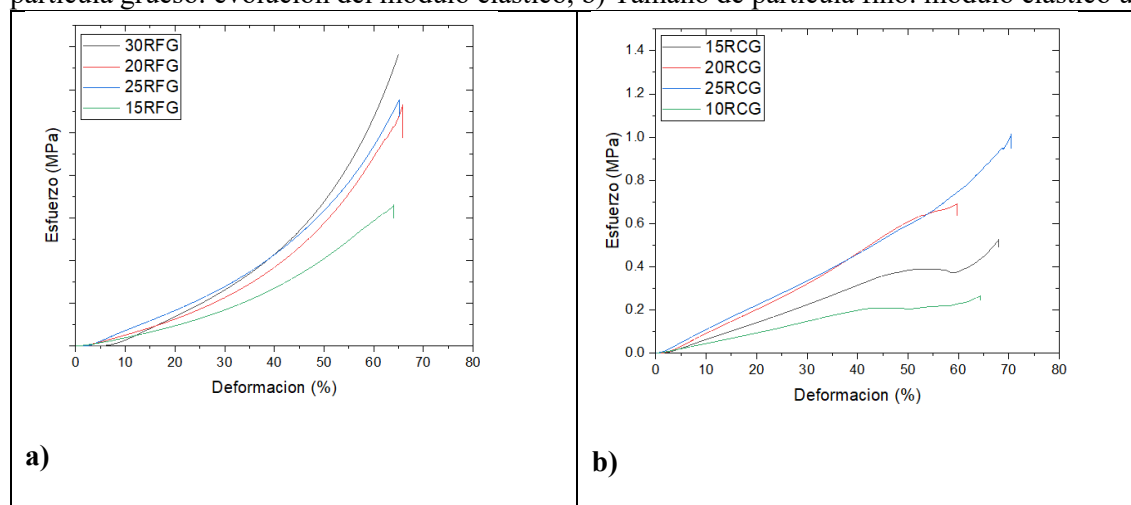
**Figura 2.** Diagrama esfuerzo/deformacion del ensayo de compresión.



Sin embargo, las curvas de esfuerzo deformación con tamaños de partícula menores producirán una evolución en la pendiente de la curva esfuerzo-deformación, es decir el módulo elástico hacia el final de estas curvas incrementa (ver figura 3a), comportamiento típico en materiales elastómeros, la anterior descripción puede ser apreciada de mejor manera al compararse las curvas esfuerzo-deformación por separado y mostradas en la Figura 3.

Los resultados exactos de los valores de resistencia alcanzados pueden observarse en la Tabla 2. Cabe mencionar que el módulo elástico reportado para las muestras con tamaño de grano fino corresponde a la primer parte recta encontrada en las curvas esfuerzo deformación.

**Figura 3.** Comportamiento de la pendiente esfuerzo-deformación (módulo elástico); a) tamaño de partícula grueso: evolución del módulo elástico, b) Tamaño de partícula fino: módulo elástico único.

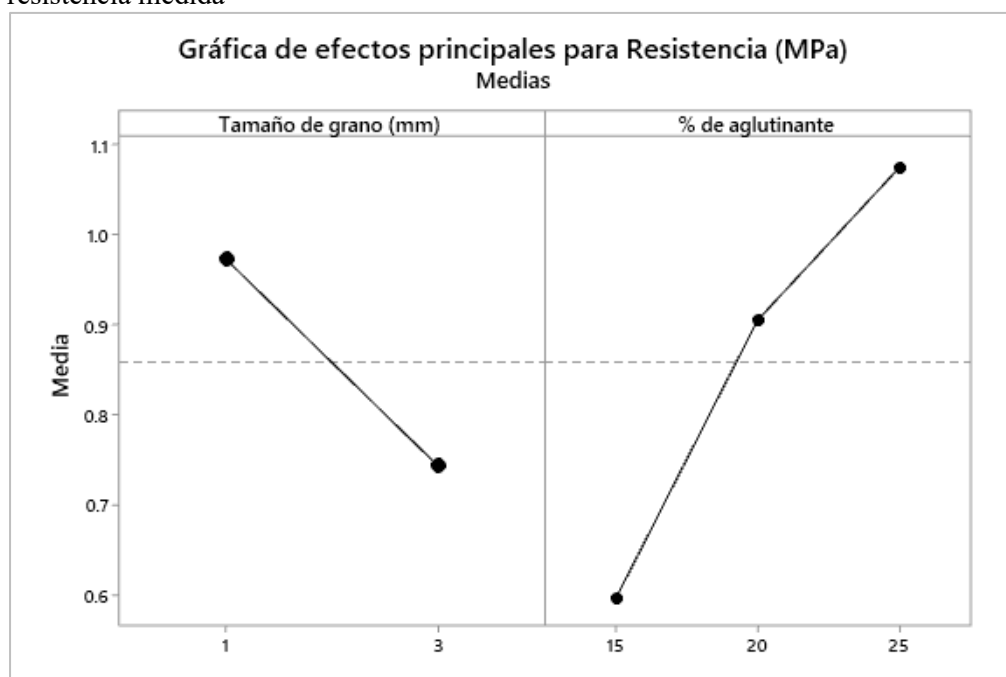


**Tabla 2. Resultados de resistencia a la compresión.**

Nombre de la probeta	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo elástico (MPa)
30RFG	1.36	1.14
25RFG	1.15	1.0
20RFG	1.11	0.65
15RFG	0.66	0.32
25RCG	1.00	1.2
20RCG	0.70	1.16
15RCG	0.53	0.84
10RCG	0.26	0.51

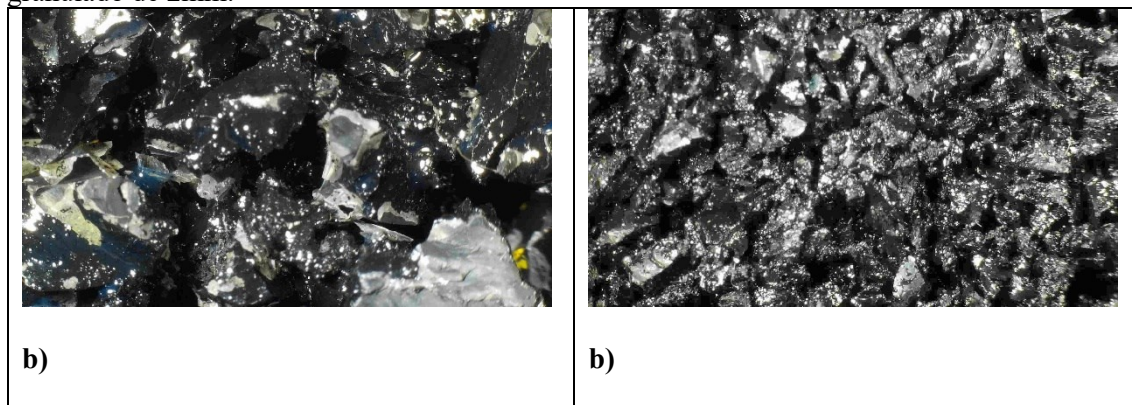
Haciendo un estudio de los efectos de los factores estudiados; tamaño de partícula y porcentaje de aglutinante (ver Figura 4) se puede inferir que en este experimento es el porcentaje de aglutinante el agente que causa mayores efectos en la resistencia a la compresión del material obtenido.

**Figura 4.** Efectos de los factores tamaño de grano y porcentaje de aglutinante usado en la media de la resistencia medida



La apariencia superficial del material generado durante este estudio puede apreciarse mediante su caracterización en la superficie plana de las probetas ensayadas. La Figura 5 muestra un ejemplo de la apariencia obtenida en las probetas con 20% de aglutinante y los dos tamaños de granulado utilizados, es evidente que el granulado grueso generará una apariencia porosa mientras el granulado fino promueve apariencias más sólidas.

**Figura 5.** Apariencia superficial de probetas con resina y hule reciclado; a) granulado de 3mm; b) granulado de 2mm.



## CONCLUSIONES

Se realizó un estudio para evaluar la resistencia mecánica a la compresión en un material compuesto fabricado a partir de hule de llantas recicladas y un aglutinante a base de poliuretano y se han obtenido las siguientes conclusiones.

Es factible moldear un material compuesto a partir de hule de llantas recicladas con relativa facilidad.

Es posible controlar las propiedades mecánicas del material resultante mediante la modificación de las proporciones de los materiales empleados y del tamaño de molienda utilizado.

Los tamaños de partículas de caucho molido más finos con el porcentaje de resina adecuada incrementan la resistencia mecánica a la compresión, además aumentan los valores de modulo elástico conforme transcurre el ensayo de compresión, como sucede con los materiales elastómeros.

Tamaños de partícula gruesos generan menor resistencia a la compresión y un módulo elástico más o menos continuo hasta el fallo según consta en las curvas esfuerzo deformación obtenidas.

Con los datos obtenidos y con la información preliminar de la cantidad de residuos de llantas tiradas al medio ambiente en el estado de Tamaulipas, es viable la propuesta de la apertura de una empresa en la fabricación de productos a base de caucho.

Después de la investigación realizada es recomendable llevar a cabo un estudio mediante encuestas en diferentes zonas del estado de Tamaulipas para definir la cantidad y destino en la gestión de llantas fuera de uso, lo que ayudará a estimar el volumen de materia prima para la elaboración de productos a base de caucho molido.

El estudio de investigación ha demostrado que el reciclaje de llantas fuera de uso representa una oportunidad de mercado que favorezca la economía del estado de Tamaulipas la cual no ha sido explorada de manera adecuada. Así también, una vez estableciendo estrategias para la recuperación y reciclaje de las llantas, favorecerá el medio ambiente con la reducción de contaminantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul-Kader W., Haque M S. (2011). Sustainable tyre remanufacturing: an agent-based simulation modelling approach. *International Journal of Sustainable Engineering*, 330-347. DOI: <http://orcid.org/10.1080/19397038.2011.581392>
- Adhikari B., De D., Maiti S. (2000). Reclamation and recycling of waste rubber. *Progress in Polymer Science*, 909-948. DOI: [http://orcid.org/10.1016/S0079-6700\(00\)00020-4](http://orcid.org/10.1016/S0079-6700(00)00020-4)
- Alfayez S A., Suleiman A R., Nehdi M L. (2020). Recycling Tire Rubber in Asphalt Pavements; State of the Art. *Sustainability*, 9076-9090. DOI: <http://orcid.org/10.3390/su12219076>
- Araujo-Morera J., Hernández Santana M., Verdejo R., López-Manchado M A. (2019). Giving a second opportunity to tire waste: an alternative path for the development of sustainable self-healing styrene-butadiene rubber compounds overcoming the magic triangle of tires. *Polymers*, 2122. DOI: <http://orcid.org/10.3390/polym11122122>
- Arciniega G. M., Ávila D.J., Quintero O.P. (2023). Propuesta de plan de manejo integral de llantas usadas, generadas en la ciudad de los mochis, Sinaloa. *RA XIMHA*, 157-181. DOI: <http://orcid.org/10.35197/rx.19.03.2023.07.ma>
- Chen Z., Liang Y., Lin Y., Cai J. (2022). Recycling of waste tire rubber as aggregate in impact-resistant engineered cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 129477. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129477>
- Cotana F., Vittori S., Marseglia G., Medaglia C M., Coccia V., Petrozzi A., Nicolini A., Cavalaglio G. (2019). Pollutant emissions of a biomass gasifier inside a multifuel energy plant. *Atmospheric Pollution Research*, 2000-2009. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.apr.2019.09.007>
- Dabic-Miletic S., Simic V., Karagoz S. (2021). End-of-life tire management: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 68053-68070. DOI: <http://orcid.org/10.1007/s11356-021-16263-6>



- Derakhshan Z., Ghaneian M T., Mahvi A H., Conti G O., Faramarzian M., Dehghani M. (2017). A new recycling technique for the waste tires reuse. *Environmental Research*, 462-469. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.envres.2017.07.003>
- Fadiel A., Al Rifaie F., Abu-Lebdeh T., Fini E. (2014). Use of Crumb Rubber to Improve Thermal Efficiency of Cement Based Materials. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1-11. DOI: <http://orcid.org/10.3844/ajeassp.2014.1.11>
- Fazli A., Rodrigue D. (2020). Recycling Waste Tires into Ground Tire Rubber (GTR)/Rubber Compounds: A Review. *Journal of Composites Science*, 103-145. DOI: <http://orcid.org/10.3390/jcs4030103>.
- Fiksel J., Bakshi B., Baral A., Guerra E., DeQuervain B. (2011). Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19-35. DOI: <http://orcid.org/10.1007/s10098-010-0289-1>.
- Formela K. (2021). Sustainable development of waste tires recycling technologies recent advances, challenges and future trends. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 209-222. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.004>.
- Gigli S., Landi D., Germani M. (2019). Cost-benefit analysis of a circular economy project: a study on a recycling system for end-of-life tyres. *Journal of Cleaner Production*, 680-694. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.223>.
- Hejna A., Korol J., Przybysz-Romatowska M., Zedler Ł., Chmielnicki B., Formela K. (2020). Waste tire rubber as low-cost and environmentally-friendly modifier in thermoset polymers-a review. *Waste Management*, 106-118. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.wasman.2020.04.032>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (16 de agosto, 2020). Economía y Sectores Productivos. <https://www.inegi.org.mx/teams/vehiculos/>
- Khan S R., Zeedhan M., Masood A. (2020). Enhancement of hydrocarbons production through co-pyrolysis of acid-treated biomass and waste tire in a fixed bed reactor. *Waste Management*, 21-31. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.wasman.2020.03.010>.
- Labaki M., Jeguirim M. (2017). Thermomechanical conversion of waste tyres-a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 9962-9992. DOI: <http://orcid.org/10.1007/s11356-016-7780-0>.

- Malyshkov G B., Nikolaichuk L A., Sinkov L S. (2019). Legislative regulation of waste management system development in Russian federation. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 12(5), 631-635.
- Masri T., Yagoub M., Rouag A., Benchabane A., Guerira B. (2023). Characterization of a Composite Material Composed by Rubber Tire and Expanded Polystyrene Wastes. *Journal of Composite and Advanced Materials*, 13-19. DOI: <http://orcid.org/10.18280/rcma.330103>.
- Mohajerani A., Burnett L., Smith J V., Markovski S., Rodwell G., Rahman M T., Kurmus H., Mirzababaei M., Arulrajah A., Horpibulsuk S., Maghool F. (2020). Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: a review. *Resources, Conservation and Recycling*, 104679. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.resconrec.2020.104679>.
- Ramarad S., Khalid M., Ratnam C T., Luqman Chuah A., Rashmi W. (2015). Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties, and future. *Progress in Materials Science*, 100-140. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.pmatsci.2015.02.004>.
- Roychand R., Gravina R., Zhuge Y., Ma X., Youssf O., Mills J. (2020). A comprehensive review on the mechanical properties of waste tire rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 117651. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117651>.
- Ruwona W., Danha G., Muzenda E. (2019). A review on material and energy recovery from waste tyres. *Procedia Manufacturing*, 216-222. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.promfg.2019.05.029>.
- Saleh T A., Gupta V K. (2014). Processing methods, characteristics and adsorption behavior of tire derived carbons: a review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 93-101. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.cis.2014.06.006>.
- Shulman V L. (2019). Tire recycling. In waste. *Academic Press*, pp. 489-515.
- Siddika A., Al Mamun M., Alyousef R., Mugahed Amran Y., Aslani F., Alabduljabbar H. (2019). Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 711-731. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.108>.



- Sitepu M H., Armayani., Matondang A R., Sembiring M T. (2020). Used tires recycle management and processing: a review. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 012116. DOI: <http://orcid.org/10.1088/1757-899X/801/1/012116>.
- Stevenson K., Stallwood B., Hart A. (2008). Tire Robber Recycling and Bioremediation: A review. *Bioremediation Journal*, 1-11. DOI: <http://orcid.org/10.1080/10889860701866263>.
- Symeonides D., Loizia P., Zorpas A A. (2019). Tire waste management system in Cyprus in the framework of circular economy strategy. *Environmental Science and Pollution Research*, 35445-35460. DOI: <http://orcid.org/10.1007/s11356-019-05131-z>.
- Zaman A U. (2016). A comprehensive study of the environmental and economic benefits of resource recovery from global waste management systems. *Journal of Cleaner Production*, 41-50. DOI: <http://orcid.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.086>.