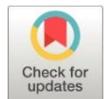


## Determinación de las propiedades mecánicas de la lámina para pista atlética a partir de caucho reciclado utilizando poliuretano

*Determination of the mechanical properties of the film for athletic track from recycled rubber using polyurethane*

- <sup>1</sup> Alejandra Marlene Lascano Moreta  
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
[am.lascano@uta.edu.ec](mailto:am.lascano@uta.edu.ec)  <https://orcid.org/0000-0001-9981-0473>
- <sup>2</sup> Diego Andrés Llerena Pico  
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
[dllerena5438@uta.edu.ec](mailto:dllerena5438@uta.edu.ec)  <https://orcid.org/0009-0006-5521-6695>
- <sup>3</sup> Segundo Manuel Espín Lagos  
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
[sespin@uta.edu.ec](mailto:sespin@uta.edu.ec)  <https://orcid.org/0000-0001-8049-452X>
- <sup>4</sup> Diego Rafael Freire Romero  
Harbert International Establishment S de RL, Ecuador  
[freired@harbert.com.ec](mailto:freired@harbert.com.ec)  <https://orcid.org/0009-0004-3439-2572>
- <sup>5</sup> Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca  
Universidad Técnica de Ambato, Ecuador  
[fguamanquispe8596@uta.edu.ec](mailto:fguamanquispe8596@uta.edu.ec)  <https://orcid.org/0000-0002-8830-138X>



### Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 11/02/2023

Revisado: 13/03/2023

Aceptado: 10/04/2023

Publicado: 19/05/2023

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i2.2557>

### Cítese:

Lascano Moreta, A. M., Llerena Pico, D. A., Espín Lagos, S. M., Freire Romero, D. R., & Guamanquispe Vaca, F. P. (2023). Determinación de las propiedades mecánicas de la lámina para pista atlética a partir de caucho reciclado utilizando poliuretano. *ConcienciaDigital*, 6(2), 155-173. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v6i2.2557>



*CONCIENCIA DIGITAL*, es una revista multidisciplinar, trimestral, que se publicará en soporte electrónico tiene como misión contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>. La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) [www.celibro.org.ec](http://www.celibro.org.ec)



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 International. Copia de la licencia: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

**Palabras**

**claves:** caucho reciclado, fracción volumétrica, láminas de caucho reciclado, neumáticos, poliuretano.

**Keywords:**

recycled rubber, volume fraction,

**Resumen**

**Introducción:** la contaminación ambiental causada por las llantas en desuso, la constante fabricación de llantas y la dificultad para desecharlas después de ser usadas, constituye uno de los problemas medioambientales más serios de los últimos años en el mundo, por la cual se hace urgente contrarrestarla mediante el reciclaje, insertando en el mercado como láminas a partir del caucho reciclado para pistas atléticas, que además de aprovechar el material reciclable de las llantas convencionales trae consigo muchos beneficios ambientales. Se trabajó bajo las condiciones establecidas en la normativa ASTM D3039 para las propiedades mecánicas de tracción, ASTM D695-15 para compresión y ASTM D2240-05 para dureza. **Objetivos:** determinar las propiedades mecánicas de la lámina para pista atlética a partir de caucho reciclado utilizando poliuretano. **Metodología:** en el presente trabajo experimental la población a considerar fueron las probetas del material compuesto conformado con poliuretano y partículas de caucho reciclado a distintas variaciones. **Resultados:** se planteó la investigación basando en la utilización de partículas de caucho reciclado y poliuretano a distintas fracciones volumétricas que van desde 70 % de poliuretano y 30 % de partículas de caucho, 60 % poliuretano y 40 % partículas de caucho, 50 % de poliuretano y 50 % de partículas de caucho, con un tamaño granulométrico de 0,05 mm a 1 mm, dando como resultado la fracción volumétrica con mejores propiedades mecánicas la que está constituida por 70 % Poliuretano y 30% de partículas de caucho, esto debido a que las dimensiones de las partículas de caucho tienen el tamaño adecuado y la cantidad necesaria para adherirse de mejor manera al poliuretano, alcanzando un rendimiento óptimo y mejorando los resultados obtenidos en esta fracción. **Conclusiones:** el material obtenido con fracciones volumétricas del 70 % matriz polimérica y 30 % de refuerzo con partículas de caucho reciclado proporcionaron un mejor comportamiento a compresión, tracción y dureza. **Área de estudio general:** materiales. **Área de estudio específica:** polímeros.

**Abstract**

**Introduction:** the environmental pollution caused by tires in disuse, the constant manufacture of tires and the difficulty to dispose of them after being used, constitutes one of the most serious

recycled rubber  
sheets, tires,  
polyurethane.

environmental problems of recent years in the world, for which it is urgent to counteract it through recycling, inserting in the market as sheets from recycled rubber for athletic tracks, that in addition to taking advantage of the recyclable material of conventional tires brings with it many environmental benefits. We worked under the conditions established in ASTM D3039 for mechanical tensile properties, ASTM D695-15 for compression and ASTM D2240-05 for hardness. **Objectives:** to determine the mechanical properties of the sheet for athletic track from recycled rubber using polyurethane. **Methodology:** in the present experimental work the population to be considered were the specimens of the composite material formed with polyurethane and particles of recycled rubber to different variations. **Results:** the research was based on the use of recycled rubber and polyurethane particles at different volumetric fractions ranging from 70 % polyurethane and 30 % rubber particles, 60 % polyurethane and 40 % rubber particles, 50 % polyurethane and 50 % rubber particles, with a granulometric size of 0.05 mm to 1 mm, resulting in the volumetric fraction with better mechanical properties which is constituted by 70% Polyurethane and 30% rubber particles, this because the dimensions of the rubber particles have the right size and the necessary amount to adhere better to the polyurethane, reaching optimal performance and improving the results obtained in this fraction. **Conclusions:** the material obtained with volumetric fractions of 70 % polymer matrix and 30 % reinforcement with recycled rubber particles provided better compression, traction, and hardness behavior. **Area of general study:** mathematics. **Specific area of study:** polymers.

## Introducción

Las llantas al fabricarse a partir de caucho natural, caucho sintético, negro de humo, agentes químicos (azufre, óxido de zinc, cadmio), y elementos de refuerzo (hilos de acero y textiles), se convierten en un tipo de residuo de manejo especial, que por su composición y tamaño no son recibidos en los rellenos sanitarios lo cual conlleva a que se genere una inadecuada disposición (Cardona & Sánchez, 2011), de allí que, son arrojados a los bordes de las carreteras, solares, ríos, etc. afectando negativamente el medio ambiente (Miranda, 2006).

Estas llantas se convierten en un factor altamente contaminante que atenta contra el medio ambiente, debido a su corta vida útil (aproximadamente 18 meses) y a los inadecuados procesos de disposición final que se aplican (Leung et al., 2002); gran parte de las llantas luego de su uso, son almacenadas en depósitos clandestinos, techos o patios de vivienda, basureros y en espacios públicos (lagos, ríos, calles y parques), con graves consecuencias en términos ambientales, económicos y sanitarios (Santander, 2018).

La quema de llantas afecta la calidad del aire debido a alta proliferación de dioxinas, mercurio, hidrocarburos poli aromáticos y metales pesados como plomo, zinc, níquel y vanadio, líquidos y sólidos dañinos (López, 2019), que además según la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EU EPA, pueden ser contaminantes del suelo y del agua superficial y subterránea (Aguilar, 2023). Se afirma que la quema o incineración ya sea por incendios en los vertederos o por incineración controlada es el mayor problema atmosférico porque genera diferentes contaminantes tóxicos, tales como partículas sólidas, NOx1, SO2, COV, gases clorados y dioxinas (Babativa & Holguín, 2017).

Estos contaminantes afectan la salud humana ya que son agentes cancerígenos, causan malformaciones congénitas, diabetes, altera el sistema hormonal, inmunológico, respiratorio y nervioso (Rodríguez-Moreno, 2013).

En cuanto a la proliferación de vectores, estos transmiten parásitos, incluyendo virus, bacterias, protozoos y helmintos. Cuando las llantas usadas son almacenadas en lugares abiertos, albergan gran cantidad de agua estancada y absorben luz solar creando un ambiente propicio para la reproducción de roedores, vectores o mosquitos transmisores de enfermedades (Ardila & Arriola, 2017). Es claro entonces que la contaminación desde las llantas en desuso es nociva para la salud, la seguridad, y el bienestar de la población, de la vida vegetal y animal.

Esta problemática se agranda si se tiene en cuenta que cada año, cerca de 1000 millones de neumáticos llegan al final de su vida útil en todo el mundo (Herrero, 2019); y que el parque automotor va creciendo cada año de manera vertiginosa, lo que ha hecho que el consumo promedio de llantas en Colombia este entre 4,5 y 5,5 millones, de las cuales se recicla por incineración y en rellenos sanitarios un 72 por ciento, se reencaucha un 17 por ciento, el 6 por ciento tiene un destino artesanal y a un 5 por ciento se le da otros usos, como el 'regrabado' (Santander, 2018).

Tanto el caucho natural como el sintético, al igual que el plástico, se deterioran continuamente. Por tal motivo, es importante que los custodios de las colecciones tomen conciencia que, controlando correctamente el deterioro, se puede prolongar la vida útil de estos materiales, a fin de minimizar la problemática del destino final de los neumáticos que en la actualidad se constituyen como un problema de salud pública, técnico, estético y ambiental (Shulan et al., 2011).

Como sucede con todos los materiales orgánicos, el caucho y el plástico se deterioran de distinta forma, a velocidades que varían ampliamente y que resultan impredecibles. El deterioro puede ser químico, causado por oxidación o hidrólisis, o bien físico o biológico. Tales procesos pueden ocasionar cambios en la composición química, las propiedades físicas y el aspecto de los materiales mencionados. Es posible que se liberen vapores dañinos para otros objetos, como también que aparezcan exudaciones o acumulaciones en la superficie de los objetos de caucho y plástico (Doğan et al., 2012).

Los principales agentes que causan el deterioro del caucho y los plásticos son la radiación, la humedad elevada, la temperatura alta, el oxígeno y los gases contaminantes, al igual que la tensión y otras fuerzas físicas directas (Posada, 2012). Pese a ello, no todos los cauchos y plásticos son atacados en la misma medida por cada agente.

La crisis ambiental y la contaminación va en aumento en los últimos años, siendo esta una de las razones por la cual se ha realizado este estudio para disminuir este tipo de contaminantes, dando como resultado la creación de un material con excelentes propiedades mecánicas reemplazando a los materiales convencionales de la industria. En la presente investigación se estudia las propiedades mecánicas de las láminas para pista atlética a partir de caucho reciclado utilizando poliuretano, donde la adición de partículas de caucho en polímeros termoestables es una forma de promover el reciclaje de los neumáticos fuera de uso, los mismos que hoy en día se encuentran sustituyendo materiales tradicionales por materiales compuestos a bajo costo y afables con el ambiental, por esta razón, el objetivo de la investigación es la obtención de un material a partir de las partículas de caucho reciclados y poliuretano.

En la actualidad la utilización del poliuretano se ha incrementado considerablemente esto debido a que son muy flexibles, y al ser combinadas con un buen aditivo, garantiza la existencia de una buena aleación en cauchos y plásticos, dando como resultado un esfuerzo notable. El caucho es utilizado en el campo del calzado para la formación de las suelas esto debido a la aleación con poliuretano. Sin embargo, en muchos de los casos la adhesión no es favorable, de los cuales se investigaron los inconvenientes que se suscitaron, dando como solución diferentes tratamientos superficiales a el caucho para que este tenga una elevada mejora en sus propiedades y en su adherencia con los distintos tipos de poliuretano (Fernández, 1991).

El poliuretano es una reacción química entre el isocianato y el polioliol, dando como resultado una resina que puede optar por formas duras que se las puede utilizar como recubrimientos sólidos o flexibles. En la actualidad los poliuretanos se establecen en el sexto lugar del mercado plástico ocupando el 5% en ventas mundialmente, donde se confirma que estos materiales son indispensables en la industria por el poco tiempo en su reacción (Ocampo, 2012).

Las partículas de caucho reciclados se incorporan con los polímeros como un método de reutilización. El caucho reciclado se agrupa en polímeros que pueden ser termoestable, termoplásticos y goma, pero en mucho de los casos la compatibilidad de estos compuestos es un dilema debido a que al momento de realizar la mezcla estos pierden propiedades mecánicas debido a la interfaz (Pérez, 2015).

Estas mezclas son compactadas por medio de procesos físicos entre dos polímeros, donde el responsable de las propiedades mecánicas es la matriz continua, por lo tanto, la excelencia en la mezcla es la compactación entre los polímeros donde los resultados serán los deseables. Aplicando una reacción dinámica entre el caucho reciclado y el polímero mejora significativamente las propiedades del material, elevando la adherencia y disminuyendo las tensiones que existe entre las caras y alcanzando una separación más delgada del caucho al momento de la mezcla (Ramarad et al., 2014).

En estudios anteriores se demuestra que a partir de la incorporación de partículas de caucho de los neumáticos fuera de uso con poliuretano generan cambios significativos en su estructura. En la actualidad se han convertido en una mezcla valiosa y positiva para nuevas aplicaciones industriales tales como la fabricación de láminas impermeables, asfaltos, aislamiento acústico, etc. mejorando sus propiedades mecánicas estáticas, densidad y su estabilidad térmica, reduciendo considerablemente la huella ecológica que deja este tipo de desechos (Piszczyk et al., 2015).

La ciencia e ingeniería de materiales tiene un campo amplio e interdisciplinario encargado de estudiar y manipular tanto composiciones químicas como físicas en la estructura de los materiales, controlando propiedades mediante síntesis y procesamientos, enfocadas en la transformación de materiales en instrumentos o estructuras útiles. En ingeniería de materiales es importante disponer relaciones entre el material y el rendimiento de un mecanismo donde se tomará en cuenta la microestructura, composición y la forma a la que se redujo y se procesó el material (Askeland, 2011).

### Metodología

En el presente trabajo experimental la población a considerar fueron las probetas del material compuesto conformado con poliuretano y partículas de caucho reciclado a distintas variaciones, donde se trabajó bajo las condiciones establecidas en la normativa ASTM para las propiedades mecánicas ASTM D3039 para tracción, ASTM D695-15 para compresión y ASTM D2240-05 para dureza. Para la conformación de las fracciones volumétricas del poliuretano están en el rango de 50%, 60% y 70% del porcentaje total de la composición del material y con un porcentaje de partículas de caucho reciclado de 50%, 40% y 30% respectivamente, el tamaño de la partícula de caucho a utilizar en la investigación es la que esta denominada D y está en el rango de (0,05 - 1) mm.

Se considero un mínimo de 5 probetas por prueba tanto para tracción, compresión y dureza, se considerará 2 probetas adicionales en caso de que exista alguna contrariedad en alguna de ellas, dando un total de 63 probetas como se muestra en la tabla 1, de tal manera que los resultados obtenidos en cada ensayo fueron puntualizados en fichas para proceder a su pertinente estudio y analizar e interpretar los datos realizados.

**Tabla 1**

*Número de probetas y su fracción volumétrica*

Granulometría	No	Configuración	Fracción volumétrica	Probetas Tracción	Probetas compresión	Probetas dureza
TIPO D (0,05-1) mm	1	A1	70 % Poliuretano 30 % Partículas de caucho	7	7	7
	2	A2	60 % Poliuretano 40 % Partículas de caucho	7	7	7
	3	A3	50 % Poliuretano 50 % Partículas de caucho	7	7	7
Total de probetas				21	21	21

**Fuente:** Llerena (2019)

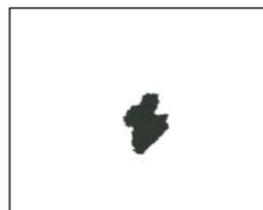
*Granulometría*

El tamaño de granulometría se tomó como referencia de investigaciones posteriores donde se destaca que los mejores resultados obtenidos y con características mecánicas superiores es la que se encuentra en el rango de 0,05 mm – 0,60 mm, independientemente de la composición volumétrica de la matriz y del refuerzo. Para la actual investigación se utilizará el tamaño de partículas de caucho con la siguiente denominación:

- Para D1: 0,05 mm - 1 mm.

**Figura 1**

*Morfología de la partícula de caucho*



**Fuente:** Llerena (2019)

La resina utilizada es de poliuretano cronodur PU-90 (A+B), la cual corresponde a una resina ideal para este tipo de trabajo debido a su fácil preparación, se lo consiguió en el

cantón Salcedo en la empresa Resina, donde se realizó un análisis previo del producto siendo este óptimo para la fabricación del material compuesto.

Los moldes se los elaboró acorde a la norma ASTM, la misma que determina los ensayos y las normas a utilizar, así como el dimensionamiento y el número de probetas a realizar para cada ensayo.

**Tabla 2**

*Dimensionamiento de los moldes según la norma ASTM*

Ensayo	Norma	Dimensiones	Número de probetas
Tracción	ASTMMD3039-2015	Largo 250 mm	5
		Ancho 25 mm	
		Espesor 3 mm	
Compresión	ASTMMD695-15	Largo 250 mm	5
		Ancho 25 mm	
		Espesor 3 mm	
Dureza	ASTMMD2240-05	Largo 250 mm	5
		Ancho 25 mm	
		Espesor 3 mm	

**Fuente:** Llerena (2019)

*Ensayos*

Para la realización de los ensayos a tracción, compresión y dureza, se los desarrollo en la ciudad de Ambato en las instalaciones del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de Tungurahua, donde se aplicó las normas correspondientes para cada uno de los ensayos indicando el equipo a utilizar.

*A. Ensayo a Tracción*

El ensayo a tracción se trabajó bajo la Norma ASTM D3039: “*Standard Test Method For Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*”, la que consiste en colocar la probeta en una célula de carga las cuales se acoplan los utillajes para la realización del ensayo.

Mediante el ensayo a tracción se obtuvo la fuerza máxima, esfuerzo máximo a la tracción, módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación, donde se obtuvo cálculos estadísticos tales como el promedio ( $\bar{x}$ ), desviación estándar ( $S_{n-1}$ ) y el coeficiente de variación (CV).

La nomenclatura del tipo de falla evaluada se lo especifica en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Nomenclatura del tipo de falla evaluado*

Primer carácter	Tipo de falla	Segundo carácter	Área de falla	Tercer carácter	Localización de la falla
L	Lineal	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	U	Desconocido
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio

**Fuente:** Llerena (2019)

La máquina utilizada para la realización de los ensayos a tracción es la máquina de ensayos universal Metrotec Serie MTE-50, con una velocidad de 10 mm/min, con una precarga de 0,01 N, la misma que es utilizada para ensayar materiales compuestos con la ayuda de un sofisticado sistema computarizado como se muestra en la figura 2.

**Figura 2**

*Máquina de ensayo a tracción*



**Fuente:** Llerena (2019)

*B. Ensayo a Compresión*

Para la realización del ensayo a compresión se aplicó la Norma ASTM D695-2015: “Standard Test Method For Compressive Properties of Rigid Plastic”, al igual que el ensayo a tracción se utiliza el mismo procedimiento de medición y las mismas características de la máquina universal Metrotec Serie MTE50, con la única diferencia que en las células se coloca los platos, los mismos que realizan la compresión, con una velocidad de 1,3 mm/min, tal como muestra la figura 3.

**Figura 3***Máquina de ensayo a compresión***Fuente:** Llerena (2019)

Al realizar el ensayo a compresión se pudo obtener los resultados requeridos para su respectivo análisis, de los cuales se determinaron la fuerza máxima, fuerza de fluencia, el esfuerzo máximo de compresión, esfuerzo de fluencia, el porcentaje de elongación y el módulo de elasticidad, de los resultados obtenidos se obtuvo los valores estadísticos de los cuales se calculó el promedio ( $\bar{x}$ ), desviación estándar ( $S_{n-1}$ ) y el coeficiente de variación ( $CV$ ).

### *C. Ensayo de Dureza*

En el ensayo de dureza se empleó la Norma ASTM D2240-05: “*Standard Test Method For Rubber Property – Durometer*”, debido a que existe dos tipos de dureza shore en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de Tungurahua, se hizo pruebas con la Dureza Shore A y la Dureza Shore D, dando mejores valores en la escala de dureza Shore D, debido a que esta escala trabaja con materiales como el caucho. Este tipo de ensayo se lo realizó manualmente con un intervalo de tiempo de indentación de 1 segundo para mejor obtención de información. En la figura 4, se muestra el equipo utilizado para el ensayo de Dureza Shore D.

**Figura 4***Máquina para ensayo de dureza Shore D***Fuente:** Llerena (2019)

### Métodos

Los valores que se presentan en la tabla 4, corresponden a las cantidades que debe estar conformada el material compuesto, garantizando que el material resultante sea el ideal para la elaboración de las probetas sin que estas afecten las propiedades mecánicas.

**Tabla 4**

*Valores de Volumen y masa para cada tipo de probeta*

Ensayo	Fp	Fm	Volumen molde	$\Delta P$ (G/CM <sup>3</sup> )	$\Delta M$ (G/CM <sup>3</sup> )	VP (CM <sup>3</sup> )	VM (CM <sup>3</sup> )	PP (G)	PM (G)
Tracción	0,30	0,70				39,375	91,875	38,981	104,094
	0,40	0,60	131,25			52,500	78,750	51,975	89,224
	0,50	0,50				65,625	65,625	64,969	74,353
Compresión	0,30	0,70				2,286	5,334	2,263	6,043
	0,40	0,60	7,62	0,99	1,133	3,048	4,572	3,018	5,180
	0,50	0,50				3,810	3,810	3,772	4,317
Dureza	0,30	0,70				35,964	83,916	35,604	95,077
	0,40	0,60	119,88			47,952	71,928	47,472	81,494
	0,50	0,50				59,940	59,940	59,341	67,912
Total de volumen y masa por molde						310,500	465,750	307,395	527,695

Fuente: Llerena (2019)

#### A. Probetas a Tracción

1. Para la elaboración de las probetas se tomaron en cuenta las fracciones volumétricas determinadas en la tabla 4, tanto de la matriz como la del refuerzo. Se procede al respectivo pesaje del Caucho Reciclado y la del Poliuretano utilizando la balanza electrónica.
2. Se procede a realizar la mezcla homogénea tanto de la matriz como la del refuerzo en un recipiente de plástico para evitar que esta se derrame o se desperdicie, con la ayuda de un mezclador debemos asegurar de que el material se combine de la mejor manera para obtener mejores resultados de la mezcla.
3. Es necesario la utilización de cera desmoldante para que el material no se adhiera al molde y poder sustraer de manera adecuada las probetas sin que esta perjudique.

4. Se vierte el material en el molde de manera uniforme y con una espátula se va dando forma en el molde, llegando a las partes de difícil acceso como son los filos del molde.
5. Se procede a cerrar el molde colocando su tapa en los agujeros de los pernos y ajustar las tuercas para evitar que el material se deforme al momento de moverlo de un lugar al otro.
6. Es necesario dejarlo secar por un periodo de 24 a 36 horas antes de desmoldarlo, una vez transcurrido este lapso se procede a repetir el proceso hasta obtener las láminas con las especificaciones de la norma ASTM D3039-2015.
7. El proceso se repetirá hasta obtener las láminas con las diferentes composiciones volumétricas.

#### *B. Probetas a Compresión*

1. Se repite los 2 primeros pasos descritos anteriormente en la elaboración de las probetas a tracción.
2. Se procede aplicar cera desmoldante en el molde de compresión de manera uniforme para que al momento de desmoldar no se complique su extracción.
3. Se vierte el material en el molde de compresión una vez hecha la mezcla, es necesario la utilización de un embudo para evitar que el material se desperdicie y este pueda ingresar al interior de del molde (neplo), para evitar que exista vacíos o poros al momento del ingreso del
4. material es necesario utilizar una varilla de  $\frac{1}{2}$  pulgada para compactar de manera uniforme el material.
5. Una vez que esté lleno el molde con el material se procedo a tapar, pero es esencial que en la rosca no quede material ya que si esto pasa será decil de sacar la tapa, la cual también debe tener cera desmoldante para su fácil desenroscado.
6. Es necesario esperar un tiempo de 36 a 48 horas para que se seque totalmente debido a que en el interior de la probeta todavía no se seca completamente.
7. Se procede a cortar de manera manual las probetas con una cierra circular con las dimensiones establecidas en la norma ASTM D695-2015.
8. Debido a que los extremos de la probeta quedan desiguales debido al corte, es necesario lijarlos, hasta dejarlos de manera uniforme para después proceder al control de calidad.
9. El proceso se lo repite hasta obtener las probetas establecidas anteriormente.

#### *C. Probetas de Dureza*

Para la elaboración de las probetas de dureza se utiliza el mismo procedimiento de elaboración que el de las probetas a tracción, con la diferencia que el molde que se utiliza para su fabricación es de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM D2240-15.

## Resultados

Los resultados conseguidos en la realización de los ensayos de tracción, compresión y dureza se los comparará mediante gráficas y estadísticamente entre las distintas fracciones volumétricas tanto de la matriz como de la del refuerzo.

Se muestra los datos promedios de las propiedades mecánicas adquiridas en el ensayo a tracción. Los resultados obtenidos en la investigación se tabulan obteniendo los valores promedios de las propiedades mecánicas calculadas, como es la fuerza máxima, esfuerzo máximo de tracción, módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación.

**Tabla 5**

*Recopilación de información del material compuesto de las cantidades promedio del ensayo a Tracción*

Granulometría	Fracción Volumétrica	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% de Elongación
D1: (0,05 – 1) mm	70% - 30%	759,9	10,063	222,6	6,044
	60% - 40%	574,3	7,897	197	5,249
	50% - 50%	522,6	7,148	226,6	3,168

**Fuente:** Llerena (2019)

Se representa los valores promedios obtenidos de las propiedades mecánicas en el ensayo a tracción, de los cuales están interpretados el esfuerzo máximo de tracción y el módulo de elasticidad. La granulometría utiliza en la investigación va desde los 0,05 – 1 mm donde se evidencia que el valor más alto en el esfuerzo máximo es el de la fracción volumétrica 70% - 30%, mientras que en el módulo de elasticidad el valor más alto es el de la fracción volumétrica 50% - 50%.

Se muestra los datos promedios de las propiedades mecánicas adquiridas en el ensayo a compresión. Los resultados obtenidos en la investigación se tabulan obteniendo los valores promedios de las propiedades mecánicas calculadas, como el esfuerzo máximo de compresión, esfuerzo de fluencia, porcentaje de deformación y el módulo de elasticidad.

**Tabla 6**

*Recopilación de información del material compuesto de las cantidades promedio del ensayo a Compresión*

Granulometría	Fracción Volumétrica	Esfuerzo Máximo de Compresión (MPa)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	% de Deformación	Módulo de Elasticidad (MPa)
D1: (0,05 – 1) mm	70% - 30%	23,284	16,3	36,03	64,59
	60% - 40%	11,214	5,24	35,09	31,9
	50% - 50%	10,471	5,72	35,96	29,08

**Fuente:** Llerena (2019)

Se representa los valores promedios obtenidos de las propiedades mecánicas en el ensayo de compresión, de los cuales están interpretados en barras el esfuerzo máximo de tracción y el módulo de elasticidad. Se evidencia que el valor más alto en el esfuerzo máximo de compresión el de la fracción volumétrica 70% - 30%, al igual que en el módulo de elasticidad el valor más alto es el de la fracción volumétrica 70% - 30%.

Se muestra los datos promedios de las propiedades mecánicas adquiridas en el ensayo de dureza Shore D. Los resultados obtenidos en la investigación se tabulan obteniendo los valores promedios de las propiedades mecánicas calculadas.

**Tabla 7**

*Recopilación de información del material compuesto de las cantidades promedio del ensayo de Dureza Shore D*

Granulometría	Fracción volumétrica	Dureza shore D
D1: (0,05 – 1) mm	70% - 30%	72,3
	60% - 40%	70,1
	50% - 50%	60,7

**Fuente:** Llerena (2019)

Se representa el valor promedio obtenido de las propiedades mecánicas en el ensayo de dureza Shore D, de los cuales están interpretados en barras. En el gráfico se evidencia que el valor más alto en Dureza Shore D es el de la fracción volumétrica 70% - 30%.

### Discusión

Una vez realizado la tabulación de datos se procede a analizar los resultados promedios obtenidos de los ensayos a tracción, compresión y dureza Shore, en una ficha técnica donde se analizará y se seleccionará el material con las mejores propiedades mecánicas de acuerdo con sus fracciones volumétricas presentadas en la tabla 4.

Con los resultados presentados en las tablas 5, 6 y 7, se procede a escoger los mejores resultados para después determinar que fracción volumétrica es la ideal para la aplicación de este proyecto de investigación, donde la resistencia máxima a la tracción tiene un valor de 10,063 MPa y la resistencia máxima a la compresión con un valor de 23,284 MPa, siendo estos los mejores resultados de las probetas ensayadas correspondientes a la fracción volumétrica 70% Matriz- 30% Refuerzo.

Los mejores resultados obtenidos del módulo de elasticidad en los ensayos a tracción y compresión equivalen a 226,6 MPa correspondiente al módulo de elasticidad a la tracción teniendo una fracción volumétrica de 50% Matriz- 50% Refuerzo, y 64,59 MPa el módulo de elasticidad a la compresión correspondiente a la fracción volumétrica 70% Matriz- 30% Refuerzo.

El mejor resultado promedio obtenido en el ensayo de dureza equivale a 72,3 dureza Shore D correspondiente a la fracción volumétrica 70% Matriz- 30% Refuerzo, teniendo una excelente resistencia a la penetración.

Esto da paso a encontrar una configuración óptima, siendo el caso ideal el que combina una fracción volumétrica 70% de la matriz - 30% del refuerzo.

### Conclusiones

- El material obtenido con fracciones volumétricas del 70 % matriz polimérica y 30 % de refuerzo con partículas de caucho reciclado proporcionaron un mejor comportamiento a compresión, tracción y dureza.
- En el material compuesto por matriz polimérica y refuerzo con partículas de caucho reciclado las propiedades mecánicas a tracción y compresión están determinadas por la concentración de poliuretano, es así que, si esta concentración aumenta, la resistencia máxima a tracción, la resistencia máxima a compresión, el porcentaje de elongación y el módulo de elasticidad en la compresión, aumentan, sin embargo el módulo de elasticidad en la tracción presenta un comportamiento decreciente en la fracción volumétrica del 60% y creciente en la fracción volumétrica del 50% de matriz.
- Respecto a la dureza Shore D los ensayos muestran que, al incrementar la concentración de poliuretano el valor de la dureza aumenta, dando un material compuesto más resistente con mayores porcentajes de matriz de poliuretano.

- Dentro de los materiales de matriz polimérica y refuerzo con partículas de caucho reciclado, la concentración de caucho reciclado afecta ciertas propiedades mecánicas en la tracción y la compresión, como el esfuerzo máximo a tracción, esfuerzo máximo a compresión, el porcentaje de elongación, el módulo de elasticidad y la dureza, sin embargo, a medida que se aumenta la cantidad de partículas de caucho en la matriz de poliuretano se incrementa el módulo de elasticidad y la deformación.

### Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

### Referencias Bibliográficas

- Aguilar, J. D. (2023). *Contaminación ambiental por la inadecuada gestión de llantas usadas por el parque automotor del municipio de Villavicencio – Meta, Colombia*. [Proyecto de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional - UNAD.  
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/54711>
- Ardila, A. N., & Arriola, E. (2017). Efecto de la quema de llantas en la calidad del agua de un tramo de la quebrada Piedras Blancas. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(5), 39-55. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222017000500039&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222017000500039&script=sci_arttext)
- Askeland, P. F. (2011). *The Science and Engineering of Materials*. Australia: Cengage Learning. <https://anupturnedworld.files.wordpress.com/2016/06/askeland-the-science-and-engineering-of-materials.pdf>
- Babativa Guio, D. F., & Holguín Contreras, S. F. (2017). Evaluación de la afectación en la calidad del aire por el incidente de quema accidental de llantas usadas en la localidad de Fontibón - Bogotá en el año 2014. [Tesis pregrado, Universidad de la Salle]. Repositorio Institucional - Universidad de la Salle.  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/349](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/349)
- Cardona Gómez, L., & Sánchez Montoya, L. M. (2011). *Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos*. [Tesis pregrado, Universidad de Medellín]. Revista Ontare. (Dakota del Norte).  
<https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revistao/article/view/2004/1775>
- Doğan, O., Çelik, M. B. & Özdalyan, B. (2012). El efecto de la utilización de mezclas de combustible diésel/combustible derivado de neumáticos en el rendimiento y

- las emisiones del motor diésel. *Combustible*, 95, 340–346.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.12.033>
- Fernández, J. C. (1991). Análisis del proceso de adhesión en el sistema caucho sintético-adhesivo de poliuretano. [Tesis Doctoral, Universidad de Alicante]. Repositorio Institucional - Universidad de Alicante.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=1666>
- Herrero, A. (2019). *Arquitectura reciclada: residuos como nuevos materiales de construcción*. [Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, Universidad Pontificia de Madrid]. Repositorio Institucional – UPM.  
<https://oa.upm.es/53939/>
- Leung, D. Y., Yin, X., Zhao, Z. G., Xu, B. H. & Chen, Y. (2002). Pirólisis de polvo de neumáticos: influencia de las variables de operación en la composición y rendimientos del producto gaseoso. *Tecnología de procesamiento de combustible*, 79 (2), 141–155. [https://doi.org/10.1016/s0378-3820\(02\)00109-1](https://doi.org/10.1016/s0378-3820(02)00109-1)
- Llerena, D. (2019). Estudio de las propiedades mecánicas de la lámina para pista atlética a partir de caucho reciclado utilizando poliuretano [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional – Universidad Técnica de Ambato.  
[https://www.google.com/search?q=llerenapico+diego+uta+pdf&client=firefox-b-d&sxsrf=APwXEdeoMwIWkMyHccnu7v\\_W57wMpr1fkQ%3A1683642031096&ei=r1ZaZMerBbSXwbkPy8eR6A8&ved=0ahUKEwiHv8Spt-j-AhW0SzABHctjBP0Q4dUDCA4&uact=5&oq=llerenapico+diego+uta+pdf&gs\\_lcp=Cgxnd3Mtd2l6LXNlcnAQAzIFCCEQoAE6BAghEBVKBAhBGAFQ0gZY7A9gyhNoAXAAeACAAaICiAGMCJIBAzItNJgBAKABAcABAQ&scient=gws-wiz-serp](https://www.google.com/search?q=llerenapico+diego+uta+pdf&client=firefox-b-d&sxsrf=APwXEdeoMwIWkMyHccnu7v_W57wMpr1fkQ%3A1683642031096&ei=r1ZaZMerBbSXwbkPy8eR6A8&ved=0ahUKEwiHv8Spt-j-AhW0SzABHctjBP0Q4dUDCA4&uact=5&oq=llerenapico+diego+uta+pdf&gs_lcp=Cgxnd3Mtd2l6LXNlcnAQAzIFCCEQoAE6BAghEBVKBAhBGAFQ0gZY7A9gyhNoAXAAeACAAaICiAGMCJIBAzItNJgBAKABAcABAQ&scient=gws-wiz-serp)
- López, S. (2019). *Evaluación de impacto ambiental generado por el manejo de llantas usadas en las vulcanizadoras del distrito de Amarilis Provincia De Huánuco 2018*. [Tesis pregrado, Universidad de Huanuco]. Repositorio Institucional - Universidad de Huanuco. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2156>
- Miranda, R. C., Segovia, C. C., & Sosa, C. A. (2006). Pirólisis de llantas usadas: *Estudio cinético e influencia de variables de operación*. *Información tecnológica*, 17(2), 7-14. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642006000200003&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642006000200003&script=sci_arttext)
- Ocampo González, J. (2012). Criterios de formulación de espumas flexibles de poliuretano MDI basados en la evaluación cualitativa de propiedades finales

realizadas a nivel laboratorio [Disertación Doctoral, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional de Colombia.  
<https://docplayer.es/4276797-Universidad-nacional-de-colombia.html>

Pérez Esparza, D. F. (2015). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de espumas flexibles de poliuretano en la ciudad de Ambato*. [Tesis Título profesional, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4181>

Piszczyk, Ł., Hejna, A., & Formela, K. (2015). Efecto del caucho molido de neumáticos sobre las propiedades estructurales, mecánicas y térmicas de espumas de poliuretano flexible. *Irán Polym J24*, 75–84. <https://doi.org/10.1007/s13726-014-0301-4>

Posada Bustamante, B. (2012). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67-86. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408>

Ramarad, Suganti & Ratnam, Chantara & Khalid, Mohammad & Luqman Chuah, Abdullah. (2014). Improving the properties of reclaimed waste tire rubber by blending with poly (ethylene-co-vinyl acetate) and electron beam irradiation. *Journal of Applied Polymer Science*. 132. 10.1002/app.41649. DOI: 10.1002/aplicación 41649

Rodríguez-Moreno, N., Martínez-Morales, V., Sarmiento-Suarez, R., Medina-Palacios, K., & Hernández, L. J. (2013). Factores de riesgo para enfermedad respiratoria en población de 5 a 14 años de una Localidad de Bogotá, 2012-2013. *Revista de Salud Pública*, 15(3), 408-420.  
<https://www.scielosp.org/pdf/rsap/v15n3/v15n3a08.pdf>

Santander, M. (2018). *Superficies de automóvil aprovechando las llantas en desuso tapetes de automóvil aprovechando las llantas convencionales en desuso para prolongar la vida útil del caucho y minimizar la contaminación ambiental*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio Institucional - Universidad Tecnológica de Pereira.  
<https://repositorio.ucp.edu.co/handle/10785/5158>.

Shulan, Z., Tuoliang, H. & Lian, D. (2011). Efectos de los residuos de caucho desmenuzado como acondicionador del suelo en el conjunto de nematodos en un suelo de césped. *Ecología del suelo aplicada*, 49, 94-98.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139311001417>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

