

Análisis de ensayo de compresión a material elastómero a base de caucho reciclado granulado

Compression test analysis of elastomeric material based on granulated recycled rubber

Jorge Fadul¹, Javier Batista¹, Nacari Marín² *

¹ Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Azuero, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Panamá

² Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Azuero, Facultad de Ingeniería Mecánica, Panamá

Fecha de recepción: 7 de febrero de 2021. **Fecha de aceptación:** 22 de mayo de 2022.

***Autor de correspondencia:** nacari.marin@utp.ac.pa

Resumen. El caucho es un material utilizado en diferentes aplicaciones debido a sus propiedades mecánicas, particularmente, las elásticas. La elaboración de productos a base de caucho reciclado representa una alternativa a la reducción de dicha contaminación. En pasados trabajos se presentan métodos de fabricación de probetas a base de caucho reciclado granulado (CRG) y cuatro aglomerantes comerciales seleccionados. Utilizando estándares internacionales se llevaron a cabo ensayos de compresión a dos tipos de muestras seleccionadas, las que arrojaron valores máximos de compresión de 371 psi. Los valores obtenidos se consideran un nivel de soporte de carga significativo, inclusive comparable con valores de materiales con características similares en la industria.

Palabras clave. Caucho, ensayo de compresión, esfuerzo mecánico, reciclaje.

Abstract. Rubber is a material used in different applications due to its mechanical properties, particularly its elastic properties. The elaboration of products based on recycled rubber represents an alternative to reduce this contamination. In this work, methods for the manufacture of test specimens based on recycled rubber granules (RGR) and four selected commercial binders are presented. Using international standards, compression tests were carried out on two types of selected specimens, which yielded maximum compression values of 371 psi. The values obtained are considered a significant load bearing level, even comparable with values of materials with similar characteristics in the industry.

Keywords. Rubber, compression test, mechanical stress, recycle.

1. Introducción

En el estudio y diseño de piezas existen distintos métodos que permiten el análisis de materiales y procesos de fabricación para así asegurar un control de calidad en el producto final. Una de las organizaciones más reconocidas en cuanto a normas es la *American Society for Testing and Materials* (ASTM). En el desarrollo de cada normativa se incluye a todas las partes interesadas, lo que asegura una exigencia que cumple a cabalidad con lo que requiere el consumidor, sea cual sea el rubro. En los Estados Unidos de América, la relación entre los normalizadores del sector privado y el sector público se ha fortalecido con la promulgación, en 1995, de la Ley Nacional sobre Transferencia y Avance Tecnológico (Ley Pública 104-113). La ley exige a las agencias gubernamentales el uso de normas desarrolladas en forma privada, siempre que sea

posible, ahorrando de esta manera millones de dólares a los contribuyentes, al evitar la duplicación de esfuerzos de normalización [1]. Cualquier entidad, científico independiente o aficionado que fabrique un material o proceso debe cumplir con las normas que corresponden para que su producto final sea considerado válido en la industria global.

En un trabajo anterior [2], los autores de este artículo presentaron el proceso de fabricación de probetas en base a la norma ASTM C39. Dichas probetas fueron fabricadas a base de caucho reciclado con la finalidad de contribuir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) “industria, innovación e infraestructura” (ODS 9), “ciudades y comunidades sostenibles” (ODS 11), “acción por el clima” (ODS 13), “vida submarina” (ODS 14), y “vida de ecosistemas terrestres” (ODS 15) planteados por la Organización de las Naciones Unidas en 2015 para el 2030 [3]. Los neumáticos

representan el 10% de los desechos microplásticos que se localizan en los océanos de todo el planeta. Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), el porcentaje de neumáticos se incrementó en un 28% durante el 2017 [4]. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo de la República de Panamá (INEC) del 2010 al 2018 el desecho de caucho en Panamá tuvo un incremento del 10.91%, lo que se traduce en 305,285,130 kg del caucho desechado en 10 años, donde 188,872,604 kg provienen de los neumáticos.

Por lo antes expuesto, el caucho reciclado ha tomado relevancia porque se emplea en fabricación de piezas y materiales de construcción de ingeniería como asfaltos, pavimentos y concretos, pisos para áreas recreativas, aisladores sísmicos y acústicos, hasta calzados e implementos deportivos [5].

El objetivo principal de esta investigación es evaluar el desempeño de dos tipos de materiales a base de caucho granulado reciclado (CRG), pero con diferente composición, a fin de proponer diferentes aplicaciones para este material.

Las probetas se fabricaron a base de caucho y selladores comerciales. Los materiales forman parte del proyecto de investigación presentado en la Jornada de Iniciación Científica (JIC) 2020 y publicado en la Revista de Iniciación Científica (RIC), en el que los autores detallan el proceso de fabricación de probetas, utilizando diferentes composiciones de caucho y selladores, escogiendo las dos composiciones con mejores resultados [2].

2. Metodología

Para la realización de los ensayos de compresión se utilizó la norma ASTM C39 [1]. En la figura 1 se presenta la configuración de la probeta cilíndrica, donde $b = 6$ cm y $h = 12$ cm.

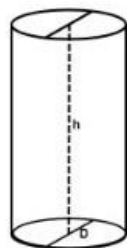


Figura 1. Forma de las probetas cilíndricas según norma ASTM C39.

El equipo utilizado para los ensayos fue una máquina Humboldt HCM-400 Series Compression Machine, que posee la certificación que le permite ser utilizada en este tipo de ensayo según la norma seleccionada. Además, se utilizó un

reloj comparador marca CDI, para obtener la deformación correspondiente al valor de carga. Es importante resaltar que la máxima deformación que se puede obtener con este equipo es de 1.6 pulgadas, puesto que el fabricante recomienda que el pistón de compresión no salga más allá de esta distancia, para que el instrumento no se descalibre.

2.1 Preparación de la probeta para ser ensayada

Antes de que la probeta sea ensayada, se debe pesar y tomar medias de alturas y diámetros ubicando el instrumento en tres posiciones diferentes de la probeta para de esa manera obtener un promedio y su desviación estándar. Se debe tomar en cuenta que las probetas pueden presentar diferentes características físicas aun cuando la composición sea la misma, por ende, deben ser revisadas.

Para un mejor control del ensayo, las probetas se dividieron en dos grupos según su composición. Las probetas A1, A2 y A3 corresponden a una composición de 60% de CRG, 20% de arena y 20% de *Polyflex*, y las probetas B1, B2, B3 corresponden a una composición de 60% CRG, 15% de arena y 25% de *Polyflex*.

En la tabla 1 se presentan los datos que se tomaron para cada probeta, con los valores de desviación estándar en cada caso.

Tabla 1. Características físicas iniciales de cada probeta

Número de probeta	Peso (g)	Diámetro promedio (pulg)	Altura promedio (pulg)
A1	346.1	2.23	4.71
A2	338.4	2.22	4.83
A3	328.7	2.15	4.79
DESV	7.12	0.035	0.05
B1	330.7	2.24	4.69
B2	357.8	2.23	4.78
B3	308.6	2.23	4.74
DESV	20.12	0.004	0.037

2.2 Montaje de la probeta sobre el equipo

Al montar las probetas dentro del instrumento, se debe seguir un protocolo que garantiza la buena ejecución del ensayo. Primeramente, se colocan discos de metal los cuales tienen un relleno de cacho para influir al mínimo en el ensayo. La cantidad de discos que se deben utilizar no está definida, ya que solo depende de que se consiga reducir al mínimo la distancia entre la probeta y el plato de compresión del pistón. Además, que se pueden utilizar diferentes tamaños de disco para lograr este objetivo, en este caso se utilizaron tres discos

adicionales al disco del plato inferior de la máquina, dando así un total de cuatro discos.

Luego de asegurar una distancia mínima entre probeta y pistón, se procede a instalar el reloj comparador, el cual debe tener un husillo lo suficientemente largo para que sea útil según el tamaño de la probeta y la deformación esperada. En este caso, se utilizó uno de 4 pulgadas. Se procedió a calibrarlo para que la aguja marcara el cero, y se verificó que este se encontrara ajustado al equipo según el elemento de sujeción del reloj. En este caso, a través de un imán el que propiciaba una interacción magnética junto con el hierro de la carcasa del equipo.

Para terminar, se procedió a cerrar la rejilla y se le aplicó una precarga a la probeta.

En la figura 2, se observa la disposición de la probeta (A1) lista para ser ensayada. Se aprecia el número de discos, el reloj de compresión ubicado y calibrado, y como la probeta está justa con ambas superficies tanto la del plato del pistón como la del plato inferior.

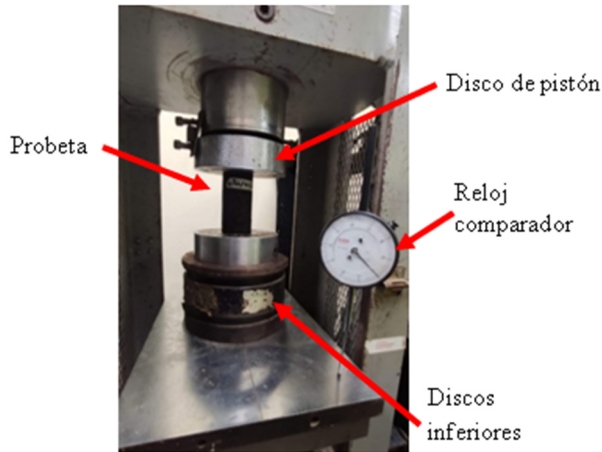


Figura 2. Probeta A1 lista para ser ensayada.

2.3 Obtención de datos

La obtención de los datos se hizo en tiempo real, utilizando el dato que arrojaba la máquina junto con el dato del reloj de compresión. De esta manera, se obtenían dos datos, carga y compresión, los que permite realizar gráficas de esfuerzo versus deformación.

Debido a las limitantes del ensayo solo se muestran un fragmento de la gráfica, que será hasta el límite elástico, donde la deformación pasa de ser elástica a elástica-plástica. Como se puede observar en la figura 3, el material pasará por un punto denominado límite de fluencia y luego de ese punto comenzará a deformarse plásticamente, denominado típicamente como falla del material por compresión [7],

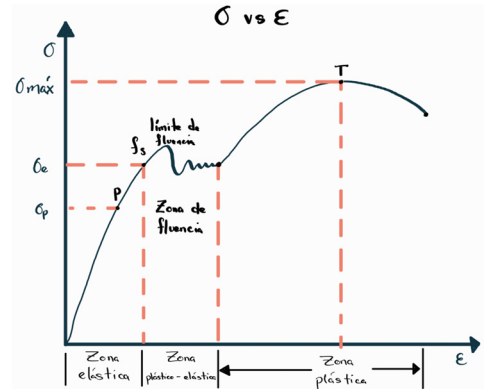


Figura 3. Gráfica esfuerzo vs deformación típica de materiales [6].

Para realizar la gráfica se calculó el esfuerzo normal de compresión sobre la probeta mediante la ecuación (1).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde σ representa el esfuerzo que percibe la probeta en psi, F es la carga que es generada por el instrumento en libras, A simboliza el área de sección transversal de la probeta en pulgadas cuadradas. Al tratarse de un cilindro se utilizó la ecuación (2) para el cálculo del área correspondiente.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

Donde d es el diámetro promedio según la probeta en pulgadas.

El ensayo se realiza hasta que el material falle o el pistón salga por completo, lo que suceda primero. En la figura 4, se aprecia como la probeta (A1) logró una deformación significativa. En este caso, al igual que en todos los demás, el ensayo se detuvo cuando el pistón había alcanzado su distancia de salida máxima segura.



Figura 4. Probeta A1 durante el ensayo de compresión.

Se llevaron a cabo un total de tres ensayos por probeta, tal como indica la norma como número mínimo de probetas ensayadas para que el resultado se considere válido. Se optó por el número mínimo requerido, ya que las limitaciones causadas a raíz de la COVID-19 redujeron el tiempo de trabajo en taller al igual que los espacios para realizar las probetas manteniendo en todo momento las normas de bioseguridad recomendadas. La obtención de los aglomerantes fue otro obstáculo, ya que el abastecimiento en ciertos locales comerciales era menor a lo habitual y se tuvo que recurrir a pedirlos directos al fabricante.

3. Resultados

Luego de haber realizado los ensayos con cada probeta se procedió a realizar unas tablas de datos con cada uno de los valores de esfuerzo y deformación que fueron medidos para cada caso.

En la tabla 2 se observa que en el ensayo A-3 y B-1 la deformación (Def) llega solo hasta las 1.4 pulgadas. Esto se debió a que la muestra falló a compresión antes de llegar a 1.6 pulgadas de deformación.

Tabla 2. Valores de esfuerzo y deformación de cada ensayo de compresión realizado

Probeta A-1		Probeta A-2		Probeta A-3		Promedio A
Def(pulg)	Es fuerza (psi)	Def(pulg)	Es fuerza (psi)	Def(pulg)	Es fuerza (psi)	Es fuerza (psi)
0.0	40.97	0.0	43.80	0.0	41.52	42.10
0.4	94.73	0.4	92.75	0.4	98.62	95.37
0.8	179.22	0.8	133.98	0.8	147.92	153.71
1.2	258.60	1.2	172.63	1.2	197.23	209.48
1.6	340.53	1.6	200.97	1.4	197.23	246.24

Probeta B-1		Probeta B-2		Probeta B-3		Promedio B
Def(pulg)	Es fuerza (psi)	Def(pulg)	Es fuerza (psi)	Def(pulg)	Es fuerza (psi)	Es fuerza (psi)
0.0	40.75	0.0	40.75	0.0	41.08	40.86
0.4	99.32	0.4	99.32	0.4	89.85	96.16
0.8	152.80	0.8	152.80	0.8	120.66	142.09
1.2	219.01	1.2	219.01	1.2	172.01	203.34
1.4	259.76	1.6	259.76	1.6	187.41	235.64

Luego, se realizaron las gráficas de cada ensayo para comparar las curvas de esfuerzo vs deformación del promedio obtenido para las probetas A y B (figura 5 y 6). Se observa que el promedio de los resultados se encuentra dentro de la zona elástica dentro de los límites esperados en su comportamiento como material elastómero. En cada caso promedio se observa una tendencia lineal en los datos obtenidos, con esto los resultados indican que el promedio de las pruebas mecánicas de compresión realizadas tiene un resultado acorde con los conceptos teóricos sobre el comportamiento esfuerzo versus deformación del material fabricado [6][7].

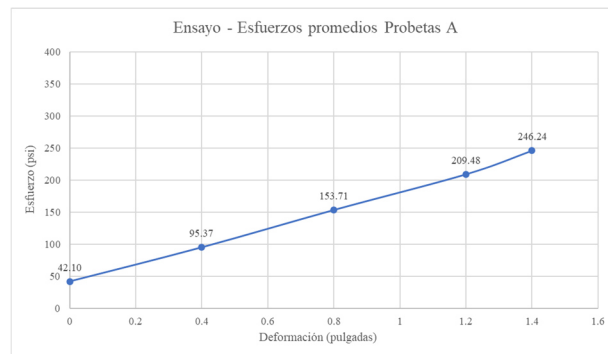


Figura 5. Esfuerzo vs deformación del promedio obtenido con las probetas A.

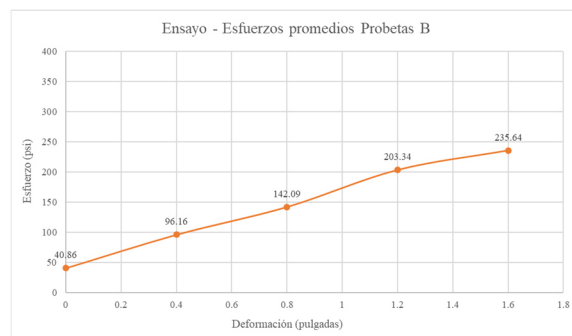


Figura 6. Esfuerzo vs deformación del promedio obtenido con las probetas B.

4. Discusión

En general, tanto el promedio de esfuerzos obtenidos con las probetas A y B presentan la misma tendencia, obteniéndose diferencias no mayores al 8%. En este sentido, no existe una mayor diferencia entre utilizar 15% o 20% de arena en la mezcla, tal y como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Diferencia entre los valores promedio de probetas A y B

Def (pulg)	Promedio A	Promedio B	Diferencia (%)
	Esfuerzo (psi)	Esfuerzo (psi)	
0.0	42.10	40.86	2.95
0.4	95.37	96.16	-0.83
0.8	153.71	142.09	7.56
1.2	209.48	203.34	2.93
1.6	246.24	235.64	4.31

El resultado más alto obtenido (de la probeta B-2) es 371.09 psi o 2.56 MPa correspondiente al esfuerzo de rotura. Al comparar este resultado con el esfuerzo a la rotura de un caucho comercial SBR de 4.0 MPa, se observa que el caucho

natural es más resistente a las cargas que el material ensayado [8].

Esta diferencia de valores puede minimizarse, si se utiliza la norma correcta para materiales elastómeros poliméricos, ya que debido a los equipos disponibles se utilizó la norma ASTM C39 con la que se hacen los ensayos de compresión del concreto, en lugar de la norma ISO 7743 para materiales elastómeros como el caucho, por ello los resultados pueden ser alejados de los valores reales [9].

Otro factor que podría otorgarle menos resistencia al material puede ser el tamaño de los gránulos de caucho. El caucho utilizado para la elaboración de las probetas es un caucho granulado reciclado (CRG), con un tamaño de grano de 2.5 mm a 3.6 mm. Gránulos con dimensiones menores podrían aportar mayor uniformidad al material

Este material puede ser utilizado en la fabricación de planchas de caucho, para pisos de gimnasios o talleres. Puede ser utilizado para fabricar planchas tipo baldosas antideslizantes en interiores, e incluso para fabricar martillos de goma empleados en instalación de baldosas. Así mismo pueden ser utilizados como superficie amortiguadora para zonas anti-golpes en áreas recreativas o industriales que lo requieran.

5. Conclusiones

El caucho es un material útil y con propiedades físicas muy ventajosas. El principal problema de utilizar caucho es que se vuelve un contaminante serio y no solo a nivel visual, sino que afecta gravemente ciertos ecosistemas en especial el ecosistema acuático.

En esta investigación se obtuvieron valores interesantes que pueden ser comparados con materiales de la industria, ya que su resistencia a la compresión ofrece más de la mitad de resistencia que un material con características físicas similares, siendo este fabricado a partir de materiales reciclados lo que le da un valor mucho mayor al mismo.

Esta investigación sienta las bases para continuar con el estudio de este material y nuevos materiales a base de caucho reciclado.

6. Recomendaciones

Para trabajos futuros se recomienda caracterizar el producto final, realizándole pruebas mecánicas y de conductiva térmica y eléctrica. Además, se recomienda automatizar el proceso de mezclado o utilizar herramientas manuales, que permitan mezclar los dos compuestos, evitando así el contacto directo con la piel.

AGRADECIMIENTOS

Al Lic. Jesús Villar, Ing. José Sánchez y José Pérez del Centro Experimental de Ingeniería de la UTP, Extensión de Tocumen por prestarnos y asesorarnos en el uso del equipo para los ensayos de compresión.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] Astm.org (2014). "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens". [Online] Available: https://www.astm.org/c0039_c0039m-14.html
- [2] N. Marín, J. Fadul, A. Bernal, y J. Batista. "Propuesta de proceso para la fabricación de probetas a base de caucho reciclado granulado", *Rev-RIC*, vol. 7, n.º 1, jun. 2021.
- [3] Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2015). "OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE". [Online] Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [4] G. Peláez, S. Velásquez y D. Giraldo (2017). "Aplicaciones del Caucho Reciclado: una revisión de la literatura" *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol 27, num. 2, 2017. [Online]. Available: https://www.redalyc.org/jatsRepo/911/91150559002/html/index.html#redalyc_91150559002_ref69.
- [5] Y. Medina, "Realizar cubierta asfáltica con alternativa ecológica, elaborado a partir de caucho triturado y minimizar los residuos de neumático" Minatitlan, México, 2016.
- [6] R. Budynas y J. K. Nisbett. *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*. 9na. Ed. México, D.F.: Mc Graw Hill, 2012.
- [7] MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y FORMACIÓN PROFESIONAL (2013). "Bachillerato a distancia Tecnología Industrial II". [Online] Available: <https://sede.educacion.gov.es/publivera/PdfServlet?pdf=VP16043.pdf&area=E>
- [8] Industria de la Goma (2021). "Ficha Técnica: GOMA COMÚN". [Online] Available: <https://www.industriadelagoma.com/pdfs/ficha-caucho-goma-comun-sbr.pdf>
- [9] International Organization of Standardization (ISO) (2017). "ISO 7743:2017 Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of compression stress-strain properties" [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/72784.html>