

Mechanical properties of recycled plastics and tyres.

Propiedades mecánicas de plásticos y neumáticos reciclados.

Autores:

Ramos Coronel, Pablo Esteban
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Cuenca - Ecuador



peramosc64@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-8927-4547>

Palma-Zambrano, Eduardo Dionei
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Cuenca - Ecuador



eduardo.palma@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-5858-5492>

Martínez Fernández, Jorge Antenor
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Cuenca - Ecuador



Jorge.martinez.67@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0003-1034-6569>

Citación/como citar este artículo: Ramos, Pablo., Palma, Eduardo. y Martínez Fernández, Jorge. (2023). Propiedades mecánicas de plásticos y neumáticos reciclados. MQRInvestigar, 7(1), 2053-2077.
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.2053-2077>.

Fechas de recepción: 18-ENE-2023 aceptación: 15-FEB-2023 publicación: 15-MAR-2023



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

En este artículo, se presenta una investigación sobre las propiedades mecánicas de materiales reciclados, específicamente plásticos tipo 2 (polietileno de alta densidad), plásticos tipo 5 (polipropileno) y neumáticos. Debido a la falta de especificaciones y normativas para ensayar materiales reciclados en laboratorio, se ha procedido a usar las normativas ASTM y NTC usadas para materiales convencionales como el acero, hormigón y madera. Los especímenes a ensayar han pasado por un proceso de separación, limpieza, corte, triturado y extrusión dando las formas correspondientes para realizar cada tipo de ensayo. Se han realizado ensayos de resistencia a compresión, corte y flexión para los elementos de plástico y ensayos de resistencia a tracción para los especímenes de neumático reciclado. De los resultados obtenidos se puede recomendar usar el plástico de tipo 2 para elaborar elementos estructurales que requieran ductilidad y el plástico tipo 5 para elementos donde una falla frágil pueda permitirse.

Palabras claves: plásticos, propiedades mecánicas, plástico reciclado, ensayos mecánicos

Abstract

In this article, an investigation on the mechanical properties of recycled materials is presented, specifically type 2 plastics (high density polyethylene), type 5 plastics (polypropylene) and tires. Due to the lack of specifications and regulations to test recycled materials in the laboratory, the ASTM and NTC regulations used for conventional materials such as steel, concrete and wood have been used. The specimens to be tested have gone through a process of separation, cleaning, cutting, crushing and extrusion, giving the corresponding shapes to carry out each type of test. Compression, shear and bending resistance tests have been carried out for the plastic elements and tensile resistance tests for the recycled tire specimens. From the results obtained, it can be recommended to use type 2 plastic to make structural elements that require ductility and type 5 plastic for elements where a brittle failure can be allowed.

Keywords: plastics, mechanical properties, recycled plastic, mechanical tests



Introducción

En los últimos tiempos, la generación de residuos de plástico y neumáticos ha sido una preocupación para la sociedad debido al impacto negativo en el medio ambiente. Con la alta demanda de estos materiales, se ha incrementado la búsqueda de técnicas para la reutilización del plástico y el caucho reciclado, siendo así un tema que se encuentra en tendencia [1].

Se debe fomentar la protección del medio ambiente al implementar nuevos materiales de construcción alternativos a la madera, acero y hormigón. Al realizar este artículo se intenta trabajar con la industrialización del plástico a favor del medio ambiente.

Debido a las grandes cantidades de envases plásticos que se producen hoy en día, se plantea como objetivo conocer las propiedades mecánicas de los plásticos tipo 2 (HDPE) y tipo 5 (PP), que pueden servir para la elaboración de elementos estructurales y no estructurales y a su vez puede servir para mitigar el problema que existe en relación a la acumulación de residuos sólidos.

Materiales y métodos

La metodología para encontrar las propiedades mecánicas de los materiales reciclados ha iniciado con la confección de probetas de plástico y de neumáticos. Al no existir una norma para ensayar elementos de neumáticos y plásticos reciclados, la investigación tomó como guía los ensayos para materiales convencionales como son el concreto, acero y la madera respetando las normativas astm (american society for testing and materials) y ntc (norma técnica colombiana).

Las propiedades mecánicas analizadas en esta investigación han sido la resistencia a la compresión, flexión y corte en las probetas de plástico extruido y de tracción en los neumáticos reciclados.

2.1 clasificación del plástico según su uso y composición

La producción de residuos crece de forma exponencial, a nivel global los plásticos ocupan el 50% del espacio total de los vertederos. [3]. Debido a esto, la sociedad de la industria de plásticos, desarrolló el código de identificación de los plásticos utilizados en el sector industrial [4].

Los envases plásticos son fabricados con una mezcla de resinas, mediante procesos de extrusión o inyección, los cuales se indican en la figura 1. Con el fin de facilitar el reciclaje y la revalorización de los materiales plásticos, cada envase posee un número del 1 al 7 dentro de un triángulo con tres flechas continuas [5].





Figura 1: Códigos de identificación de resinas de plástico
Fuente: Códigos de identificación de resinas de plástico. (2016). AM GROUP. <https://www.aristegui.info/identificacion-de-los-plasticos-por-sus-codigos/>

La nomenclatura correspondiente a cada número se detalla a continuación:

1. PET: Polietileno de tereftalato
2. PEAD: Polietileno de alta densidad
3. PVC: Policloruro de vinilo
4. LDPE: Polietileno de baja densidad
5. PP: Polipropileno
6. PS: Poliestireno
7. OTROS PLÁSTICOS

Se hará mayor énfasis en los plásticos tipo 2 y 5 debido a que son los predominantes en la zona de estudio y de los cuales pudieron elaborarse las probetas.

El PEAD y PP son polímeros simples y por ende comunes. Con el plástico de tipo 2 (PEAD), se elaboran envases con buenas propiedades de barrera, rigidez y resistencia, ejemplo de estos productos, son envases de detergentes, productos químicos, lejía, shampoo, cloro, lácteos, etc. De igual manera, el plástico tipo 5 (PP) posee características similares como la alta resistencia química y rigidez, encontrándose en gran parte en piezas moldeadas para automóviles, así como en tuberías, tapas de botellas, botellas de medicamentos, contenedores lácteos, etc [6].

2.2 Elaboración de probetas y Normativas empleadas

Para la determinación de las propiedades mecánicas del plástico y neumáticos reciclados, nos basamos en la metodología aplicada en materiales como el hormigón, acero y la madera ya que estos se encuentran estandarizados.

Se ha implementado la normativa ASTM (American Society for Testing and Materials) y NTC (Norma Técnica Colombiana), organizaciones que desarrollan normativa para ser utilizada en investigaciones, proyectos y sistemas de calidad en todo el mundo. Los ensayos utilizados, con su respectiva norma se detallan a continuación [10]:

- ASTM C293: Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto (usando una viga simple con carga en el punto central). Este ensayo permitió encontrar tanto la resistencia a tracción como módulo de elasticidad del plástico a tracción de forma indirecta como se expondrá más adelante.
- ASTM C39: Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Este método ha servido para encontrar la resistencia a compresión del plástico, módulo de elasticidad a compresión y módulo de Poisson.
- ASTM A370: Métodos de prueba estándar y definiciones para pruebas mecánicas de productos de acero. Usado para obtener la resistencia a tracción de los neumáticos y su módulo de elasticidad en conjunto con la norma ASTM D412
- ASTM D412: Métodos de prueba estándar para caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos.
- NTC 3377: Maderas. Ensayos con probetas pequeñas. Norma que indica el método de ensayo de especímenes a corte. Este ensayo sirvió para encontrar la resistencia y módulo de elasticidad a corte del plástico.

Previo al ensayo de las probetas se ha realizado un filtro y clasificación de los plásticos tipo 2 y 5, seguido por un lavado de los envases y finalmente un triturado de los mismos.

Con el material debidamente preparado, se inicia el proceso de formación de los especímenes colocando el material triturado en una máquina extrusora a la que previamente se han acoplado moldes construidos con acero de alta presión. Este proceso funde el plástico triturado a una temperatura que varía entre 200 °C y 215 °C. El material que sale de la extrusora se coloca dentro de moldes con formas que varían según el ensayo que se vaya a realizar. Una vez llenos los moldes con el material de plástico fundido se procede a dejarlo enfriar para posteriormente desmoldarlo.



2.3 Ensayo de resistencia a flexión de elementos de plástico

A través de ensayos a flexión, se mide la resistencia a tracción del elemento de forma indirecta usando la fórmula general de la flexión. El ensayo, se realizó bajo los parámetros de la norma ASTM C293. Las probetas de ensayo fueron vigas de plástico extruido como se indica en la figura 2 [4].



Figura 2: Vigas de plástico extruido en ensayo de resistencia a flexión
Fuente: Los autores

Las vigas eran elementos con unas dimensiones promedio de 1 m de largo, 2.9 cm de base y 11.6 cm de alto.

En el ensayo se midió la relación entre la deformación (flecha) de la viga respecto a la carga soportada. El modelo físico consistió en una viga simplemente apoyada con carga puntual en el centro, la cual iba aumentando de forma progresiva hasta llegar a la falla del elemento. La resistencia (esfuerzo máximo) indirecta a tracción del elemento se obtuvo de la fórmula de flexión general ya que se conoce el momento actuante, la inercia y la distancia a la fibra más cargada. [5]

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad M = \frac{F \cdot L}{4}$$

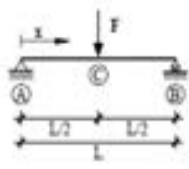
σ Esfuerzo de la fibra extrema a tracción
 M Momento aplicado
 y Distancia a la fibra extrema a tracción

Figura 3: Fórmulas utilizadas para los cálculos de esfuerzos y momento en una viga simplemente apoyada.

Fuente: Los Autores

Partiendo de las medidas de deformación de la viga para cada carga, se ha despejado de forma indirecta el módulo de elasticidad a tracción del material.

El módulo de elasticidad mostrado corresponde al módulo calculado para un esfuerzo igual al 45% del máximo obtenido.



$$\Delta = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

$$E_T = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot \Delta \cdot I}$$

E_T Módulo elástico a tracción del plástico
 Δ Deflexión medida para una carga F
 F Carga aplicada al espécimen
 I Inercia de la probeta

Figura 4: Fórmulas utilizadas para despejar el módulo elástico a tracción del plástico

Fuente: Los autores

Cabe destacar que las mediciones de la deformación fueron medidas con un deformímetro y anotadas de forma manual. Para el plástico tipo 2 pudieron realizarse estas medidas sin problema, sin embargo, el plástico tipo 5 tenía un comportamiento explosivo una vez llegaba a su carga de rotura y por temas de seguridad personal, se procedió solo a leer la carga de rotura. Este ensayo nos da una primera diferencia entre el plástico 2 y el plástico 5, siendo el primero bastante dúctil a diferencia del comportamiento frágil del segundo.



Figura 5: Elemento de plástico tipo 5 fallando en ensayo de resistencia a flexión

Fuente: Los autores

2.4 Ensayo para la obtención de la resistencia a compresión y valor del módulo de Poisson del plástico reciclado.

Este ensayo fue realizado según los parámetros de la normativa ASTM C39 y permitió obtener el máximo esfuerzo a compresión soportado por el material aplicando una carga axial hasta su fractura, siendo éste el cociente entre la carga con el que el espécimen falla y el área de la sección que soporta la carga [6]. Las probetas de ensayo fueron cilindros de plástico extruido, tienen forma cilíndrica, 200 mm de altura y un diámetro de 100 mm. La velocidad de carga aplicada a la muestra de ensayo es de 0.25 ± 0.05 MPa/s. Con todos los datos obtenidos, podemos calcular el módulo de elasticidad [7].

El valor del módulo de Poisson es el cociente entre las deformaciones unitarias transversales y longitudinales que presentan las probetas. El desplazamiento vertical



correspondiente a la dirección paralela al eje longitudinal del cilindro de prueba y el desplazamiento lateral corresponde a las deformaciones transversales.

Figura 6: Ensayo de resistencia a compresión con uso del deformímetro para calcular el módulo de Poisson

Fuente: Los autores

En la siguiente figura puede verse que luego de la prueba, los especímenes presentan acortamiento longitudinal del cilindro y un ensanchamiento transversal en lo ancho del cilindro.

Figura 7: Especímenes cilíndricos – Antes y después de la prueba



Fuente: Los autores

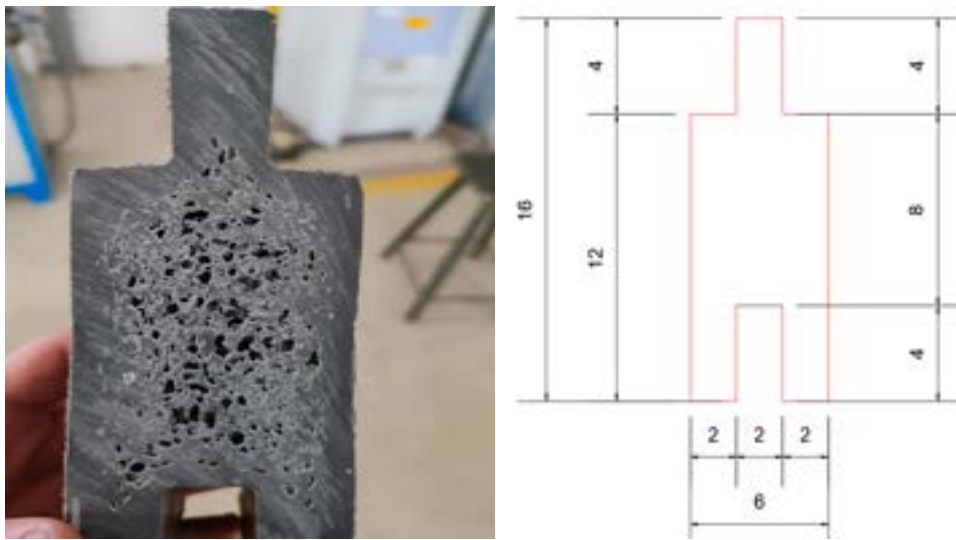
El módulo de Poisson para el plástico tipo 5 no pudo realizarse, ya que las mediciones de la deformación transversal eran anotadas de forma manual y por el carácter explosivo del material se decidió cuidar la integridad personal.

2.5 Ensayo de resistencia a corte del plástico

La Norma Técnica Colombiana NTC 3377 evalúa la resistencia y las propiedades a corte de la madera usando probetas en forma de H, el ensayo busca encontrar la resistencia a corte del elemento al someterlo a una fuerza que tiende a cortarlo en dos planos. Para este ensayo cabe destacar que a diferencia de la madera que tiene sus fibras orientadas en un solo sentido, el plástico extruido no tiene una dirección definida, sin embargo, los resultados nos dan una tendencia del comportamiento del material bajo esfuerzos cortantes. En la siguiente ilustración se indican las medidas del espécimen sometido a la prueba de cortante [10].

Figura 8: Medidas en centímetros de los especímenes para los ensayos de resistencia a cortante

Fuente: Los autores



Todos los elementos poseen las siguientes medidas de área a corte

Tabla 1

Medidas de los elementos previo al ensayo de resistencia al corte

DATOS INICIALES DE LAS CARAS SOMETIDAS A CORTE	
Ancho (mm)	57
Largo(mm)	77
Área (mm ²)	4389

Fuente: Los autores

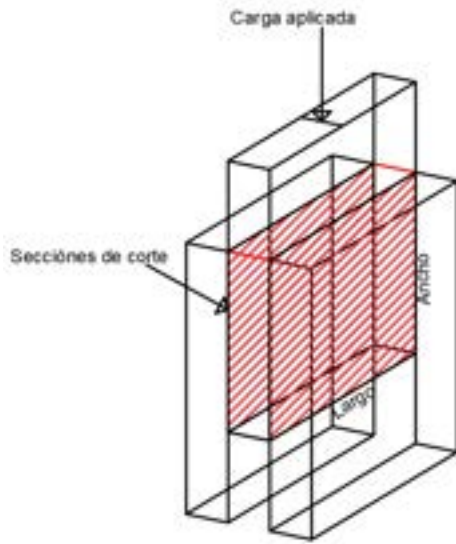


Figura 8: Sección de corte en el ensayo de resistencia a cortante.

Fuente: Los autores

2.6 Ensayo de resistencia a tracción del neumático

Mediante la normativa ASTM A370 que indica las pautas para realizar el ensayo de resistencia a tracción del acero, acoplando las muestras a ensayar de acuerdo a lo establecido en la normativa ASTM D412 que es la normativa para las pruebas de caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos, se ha logrado obtener la resistencia a tracción, así como la gráfica esfuerzo-deformación del neumático reciclado

Los especímenes se han construido en forma de “hueso” cortando piezas de neumático reciclados con un largo de 350 mm y 50 mm de ancho, mediante este ensayo se puede calcular propiedades mecánicas como la ductilidad, resistencia, módulo de elasticidad, entre otras [9].



Figura 9: Espécimen de neumático reciclado sometido a ensayo de resistencia a tracción
Fuente: Los autores



Figura 10: Esquema de medidas para probetas de neumático
Fuente: Los autores

Resultados y discusión

Las probetas elaboradas fueron tomadas de muestras aleatorias de plástico reciclado y triturado. Todos los valores obtenidos para cada una de las pruebas son cercanos entre sí.

3.1 Resultados obtenidos con los ensayos de compresión

Se han ensayado un total de 5 probetas para cada tipo de plástico. Para obtener el esfuerzo a compresión dividimos la fuerza máxima aplicada entre el área de la sección transversal. De acuerdo al ACI 318-19, apartado 19.2.2, el módulo de elasticidad del material está representado por la pendiente de la recta secante del 45% del valor de $f'c$ [11, pp. 318-19].

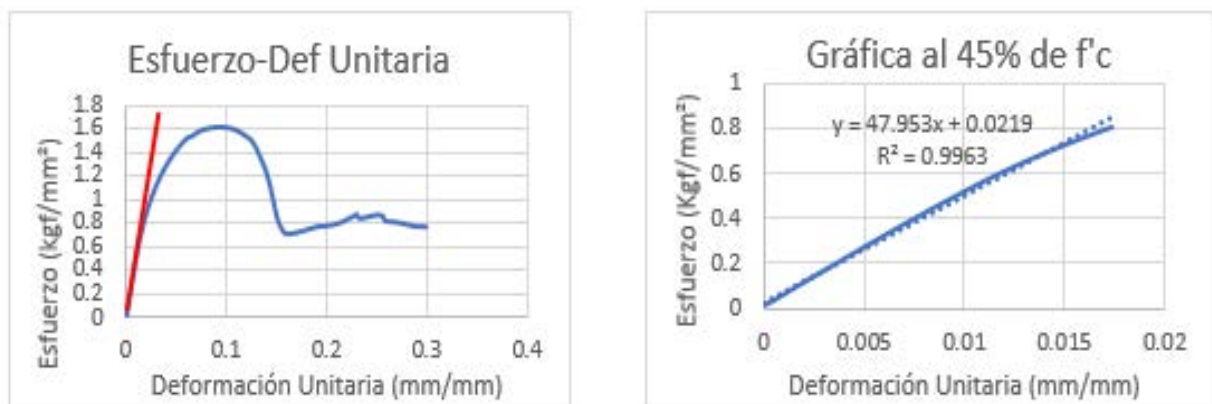


Figura 11: Gráfico tipo de cada probeta $F'c$ al 45% para hallar el módulo de elasticidad
Fuente: Los autores

Tabla2

Cuadro resumen de resultados plástico tipo 2 – ensayo resistencia a compresión

ANÁLISIS DE RESULTADOS PLÁSTICO TIPO 2 (PEAD)			
PROBETA	MODULO DE ELASTICIDAD (MPa)	f'c (MPa)	Densidad (g/cm ³)
1	470.26	15.57	0.6799
2	475.23	17.1	0.6799
3	511.98	15.43	0.6799
4	523.48	17.31	0.6798
5	484.01	16.52	0.6799
Promedio	492.99	16.41	0.68

Fuente: Los autores

El módulo de elasticidad promedio para el plástico de tipo 2 es de 492.99 MPa, con una resistencia a la compresión de 16.41 MPa. Al realizar el ensayo se observó que los elementos tienden a comprimirse por capas, esto debido a la fricción interna de sus fibras y ductilidad que presenta este tipo de material.



Figura 12: Probeta plástico tipo 2 luego del ensayo a compresión

Fuente: Los autores

Tabla 1

Cuadro resumen de resultados plástico tipo 5 – ensayo resistencia a compresión

ANÁLISIS DE RESULTADOS PLÁSTICO TIPO 5 (PP)			
PROBETA	MODULO ELASTICIDAD (MPa)	f'c (MPa)	DENSIDAD (g/cm ³)
1	627.45	16.04	0.6477



2	620.86	15.94	0.6633
3	552.07	13.25	0.6738
4	655.58	16.44	0.6849
5	425.63	10.87	0.6368
Promedio	576.32	14.51	0.6613

Fuente: Los autores

En los ensayos realizados con el plástico tipo 5 (PP) se evidenció un comportamiento explosivo de los elementos al momento de llegar a la carga máxima. Se obtuvo un valor de 576.32 MPa para el módulo de elasticidad y una resistencia a compresión de 14.51 MPa.



Figura 13: Probeta de plástico tipo 5 luego del ensayo a compresión
Fuente: Los autores

De igual manera se han realizado 13 probetas adicionales para obtener el módulo de Poisson del plástico tipo 2 relacionando las deformaciones longitudinales y transversales de cada probeta ensayada

CÁLCULO DEL MODULO DE POISSON

PRUEBA No. 36 DESPLAZAMIENTO VERTICAL COMPRESION Y DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL TRANSVERSAL

b1: 94.30 Ancho: 97.01 mm Altura: 182.81 mm
 b2: 99.71 ϕ = 9.70 cm H= 18.281 cm
 Area = 7390.57 mm² Peso: 1128.5 gr
 Area = 73.91 cm² Volumen: 1351.07 mm³
 F'c= 168.82 kg/cm²

No. toma	Valor tomado (parte de vuelta)	Vueltas/mm (mm)	Fuerza (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desplaza ΔH (mm)	Desplaza ΔY (mm)	Ex (mm)	Ey (mm)	Poisson u= Ex/Ey
0	0	0	0	0.00	0.00	0.000000	0.00000	0.00000	-
1	10	0.254	4075	55.14	0.25	1.998000	0.00262	0.01093	0.2396
2	20	0.508	6664	90.17	0.51	3.566000	0.00524	0.01951	0.2685
3	30	0.762	8416	113.87	0.76	4.982000	0.00786	0.02725	0.2882
4	40	1.016	9916	134.17	1.02	6.502501	0.01047	0.03557	0.2945
5	50	1.27	11500	155.60	1.27	8.488376	0.01309	0.04643	0.2820
6	60	1.524	12376	167.46	1.52	9.790875	0.01571	0.05356	0.2933

u = 0.2777

Figura 14: Valores de esfuerzo y deformación para obtener el módulo de Poisson para una probeta tipo

Fuente: Los autores

A continuación, se muestran los resultados de varias probetas ensayadas, de las cuales el valor del módulo de Poisson varía desde 0.433 hasta 0.169, con un promedio igual a 0.27.

MODULO DE POISSON " u "	
PRUEBA No.	VALORES DE POISSON PARA F' C ≤ 168.82 kg/cm ²
21	0.317
22	0.277
23	0.373
24	0.274
25	0.226
25b	0.235
26	0.204
31	0.232
32	0.270
33	0.169
34	0.244
35	0.433
36	0.278
PROMEDIO:	0.272

Figura 15: Valores de esfuerzo y deformación para obtener el módulo de Poisson para una probeta tipo

Fuente: Los autores

3.2 Resultados obtenidos con los ensayos de flexión

En los ensayos de resistencia a la flexión se utilizaron un total de 4 probetas para el plástico tipo 2 cuyos resultados se muestran a continuación.

Tabla 4

Tabla resumen de resultados plástico tipo 2 – ensayo de resistencia a flexión

MUESTRA	E Calc	σ Max
	45% σ Max	MPa
	MPa	MPa
1	586.45	20.73
2	517.00	18.28
3	537.02	18.95
4	536.54	18.02
PROMEDIO	544.25	18.99

Fuente: Los autores

El esfuerzo máximo obtenido en la fibra de tracción fue de 18.99 MPa y el módulo de elasticidad promedio calculado para un 45% de los esfuerzos máximos es de 544.25 MPa. Se observó que los elementos no se rompieron, sin embargo, sufrieron desplazamientos considerables y pandeo lateral torsional.



Figura 16: Muestra luego del ensayo

Fuente: Los autores



Figura 17: Espécimen durante el ensayo de resistencia a flexión

Fuente: Los autores

Al realizar el ensayo de flexión para calcular la resistencia a tracción indirecta en los elementos construidos con plástico tipo 5, se pudo apreciar que estos explotan al llegar a la carga máxima soportada, por lo que se dificultó la recopilación de los datos de desplazamientos, se ensayaron 3 probetas cuyos resultados son los siguientes:

Tabla 5

Tabla resumen de resultados plástico tipo 5

MUESTRA	σ Max MPa
1	15.79
2	21.26
3	21.67
PROMEDIO	19.55

Fuente: Los autores

3.3 Resultados obtenidos con los ensayos de corte

El ensayo para calcular la resistencia a corte se lo realizó con 4 especímenes de plástico tipo 2; y 3 especímenes de plástico tipo 5.

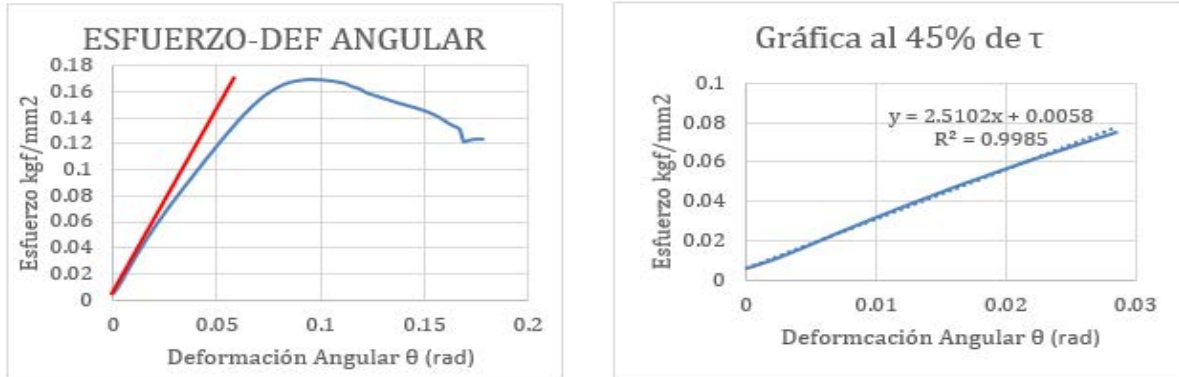


Figura 18: Gráficas tipo para las diversas muestras obtenidas
Fuente: Los autores

Tabla 6

Resultados ensayos de corte plástico tipo 2

MUESTRA	$\tau_{\text{máx}}$	G
	MPa	MPa
1	1.54	32.409
2	2.23	47.36
3	1.84	41.28
4	1.66	24.62
PROMEDIO	1.82	36.42

Fuente: Los autores

Del ensayo de resistencia a corte en el plástico tipo 2, este puede soportar un esfuerzo cortante de 1.82 MPa y tiene un módulo de cortante de 36.42 MPa. El elemento tiende a fluir en el núcleo hasta llegar a su límite como se puede apreciar en la siguiente ilustración.



Figura 19: Sección de corte en el ensayo de resistencia a cortante plástico tipo 2
Fuente: Los autores

Tabla 7

Resultados ensayos de corte plástico tipo 5

MUESTRA	$\tau_{m\acute{a}x}$	G
	MPa	MPa
1	3.22	41.34
2	3.19	43.94
3	3.17	54.5
PROMEDIO	3.19	46.59

Fuente: Los autores

Al realizar los ensayos de corte en el plástico tipo 5 se obtiene en promedio que puede soportar un esfuerzo cortante de 3.19 MPa y tiene un módulo de cortante de 46.59 MPa. Se puede observar que el elemento se fractura por el núcleo, cuando alcanza su carga máxima, esto se puede apreciar en la siguiente ilustración.



Figura 20: Sección de corte en el ensayo de resistencia a cortante plástico tipo 5

Fuente: Los autores

3.4 Resultados obtenidos con los ensayos de tracción en neumáticos.

Para estos ensayos se colocaron secciones de madera que abrazaban las probetas, permitiendo generar un agarre suficiente para que los elementos no se deslicen al momento en que la prensa aplicaba carga.

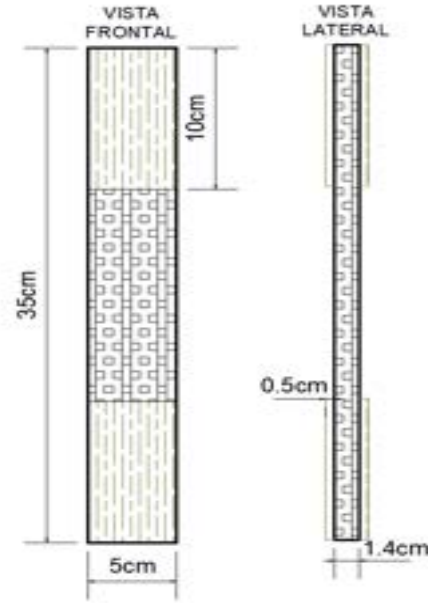


Figura 21: Esquema de medidas para probetas de neumático
Fuente: Los autores

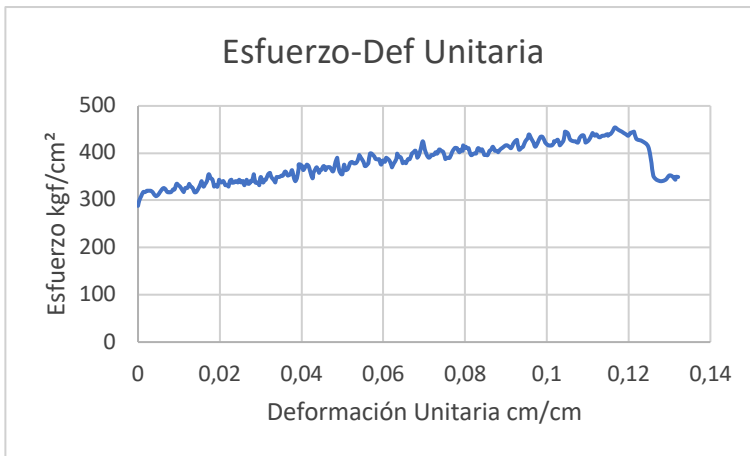


Figura 21: Gráfica Esfuerzo-Deformación Unitaria tipo para las probetas de neumático reciclado

Fuente: Los autores

Tabla 8

Resultados de ensayo de tracción con neumáticos

ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Muestra Ancho 5 cm	σ_T	E_t
	MPa	MPa
1	40.27	161.182
2	40.26	163.15



3	32.85	101.55
4	40.21	159.25
5	39.56	136.94
PROMEDIO	38.73	144.41

Fuente: Los autores

Al concluir con los ensayos se obtienen que las muestras soportan en promedio un esfuerzo máximo de 38.73 MPa y tienen un módulo de elasticidad de 144.41 MPa. Al realizar los ensayos se pudo observar que, las capas se desprenden entre las uniones de los hilos de acero y sus recubrimientos



Figura 22: Ensayo de resistencia a tracción

Fuente: Los autores

Tabla 9

Resumen de resultados obtenidos para los materiales reciclados.

Material	E_{comp}	E_{trac}	G_{cort}	ν Poisson	σ_{comp}	σ_{trac}	σ_{cort}	δ Densidad
	MPa	MPa	MPa	-	MPa	MPa	MPa	g/cm ³
Plástico 2	492.99	544.25	36.4	0.27	16.41	18.99	1.82	0.68
Plástico 5	576.32	NA	46.59	NA	14.51	19.55	3.19	0.66
Neumático	NA	144.41	NA	NA	NA	38.73	NA	NA

Fuente: Los autores

Conclusiones

Al realizar los ensayos, se pudo identificar al plástico tipo 2 como óptimo para diseñar elementos estructurales ya que no solo presenta una buena resistencia, sino además una gran ductilidad. El plástico tipo 5 explota una vez llega a su carga máxima.

Las densidades de las probetas plásticas están en orden de 670 kilogramos por cada metro cúbico, lo cual la hace mucho más ligera que la madera, acero o concreto.

De la tabla resumen podemos concluir que el plástico tipo 2 es 12.37 % más resistente a compresión que el tipo 5, sin embargo, es un 17% menos rígido.

De los resultados obtenidos del ensayo a flexión se obtuvo de forma indirecta la resistencia a tracción de los dos tipos de plástico, dando como resultado que el plástico 5 es un 3% más resistente a tracción que el tipo 2, sin embargo, la fórmula general de flexión al emplear una sección completamente simétrica arrojaría los mismos valores a compresión, lo cual contradice los resultados encontrados de forma directa en los cilindros a compresión. Esto implica que el valor obtenido como resistencia a tracción deben tomarse con mucha reserva. Sin embargo, debe destacarse que los valores de resistencia a tracción superaron la resistencia a compresión, lo cual implicaría que de forma conservadora podríamos asignar como resistencia a tracción, el valor de la resistencia a compresión obtenida de forma directa.

El plástico tipo 2 es 75.2% menos resistente a cortante que el plástico tipo 5 y también menos rígido a corte, sin embargo, la buena resistencia del plástico tipo 5 se ve opacada por su comportamiento explosivo, lo cual no brinda seguridad al momento de emplearse en cualquier elemento estructural.

Al finalizar los ensayos de tracción en neumáticos usados se obtuvo un módulo de elasticidad de 144.41 MPa, y un esfuerzo a tracción de 38.72 MPa. El módulo de elasticidad encontrado, a pesar de no existir buen agarre con las mordazas es cercano a otras tesis de investigación 203.45 MPa [12]. Al realizar las probetas para los ensayos se pudo observar que al usar discos de acero para cortar los neumáticos se produce fricción, lo cual genera calor debilitando la adherencia existente entre los hilos de acero y el caucho.

El valor del módulo de Poisson del plástico tipo 2 se lo obtuvo a través de varios ensayos de probetas a compresión. Debe destacarse la gran variación de los resultados encontrados, por lo que el promedio obtenido de 0.27 debe ser asumido con cuidado.

Referencias

- [1] G. J. P. Arroyave, S. M. V. Restrepo, y D. H. G. Vásquez, «Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura», *Cienc. E Ing. Neogranadina*, vol. 27, n.º 2, p. 1, 2017.
- [2] F. J. Terrados-Cepeda, L. Baco-Castro, y D. Moreno-Rangel, «Patio 2.12: Vivienda prefabricada, sostenible, autosuficiente y energéticamente eficiente. Participación en la competición Solar Decathlon Europe 2012», *Inf. Constr.*, vol. 67, n.º 538, p. e088, jun. 2015, doi: 10.3989/ic.13.138.
- [3] S. Palella y F. Martins, *Metodología de la investigación cuantitativa*, FEDUPEL. Caracas: FEDUPEL, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://issuu.com/originaledy/docs/metodologic3ada-de-la-investigacic3b>
- [4] National Ready Mixed Concrete Association, «El Concreto en la Práctica ¿Qué, Por qué y cómo?» Nrmca, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/16pes.pdf>
- [5] ASTM, «Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)». ASTM, 27 de diciembre de 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.astm.org/c0293_c0293m-16.html
- [6] National Ready Mixed Concrete Association, «El Concreto en la Práctica ¿Qué, Por qué y cómo?» Nrmca, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.crmca.com/wp-content/uploads/2016/08/CIP-35-Spanish.pdf>
- [7] ASTM, «Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens». ASTM, 16 de junio de 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.astm.org/c0039_c0039m-14.html
- [8] L. Gamarra, L. Diaz, y C. Canelo Sierra, «Ensayo a tracción de acero 1045», feb. 2019, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331310934_Ensayo_a_traccion_de_acero_1045
- [9] ASTM, «Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products». ASTM, 8 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.astm.org/a0370-21.html>
- [10] D. J. A. González y G. C. F. Parra, «Análisis de la resistencia al corte, tracción, flexión y compresión en probetas de plástico reciclado.» Universidad La Gran Colombia, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5517/1.%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



[11] ACI, *Requisitos de Reglamentos para Concreto Estructural (ACI 318-19)*. Farmington Hill, U.S.A, 2019.

[12] R. Flores Moreno, A. Martínez Rodríguez, G. Valerio Pacheco Sánchez, V. L. Reyes de la Cruz, y A. Laffita Leyva, «Determinación de propiedades físico-mecánicas del material componente de un neumático de tractor», *Rev. Cienc. Téc. Agropecu.*, vol. 19, n.º 3, pp. 57-61, sep. 2010.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

