

**Bloques de Mampostería de Hormigón
con Neumáticos Reciclados: Diseño, Fabricación
y Evaluación**

*Concrete Masonry Blocks made
from Recycled Tires: Design, Manufacture,
and Evaluation*



Carlos Emmanuel Alvear Peralta
Investigador Independiente, Ecuador

carlosalvearpe@gmail.com
0009-0009-6612-996X

Juan Carlos Calderón Peñafiel
Universidad del Azuay, Ecuador

jccalderon@uazuay.edu.ec
0000-0002-1475-4239

Recibido: 25/08/2025
Aceptado: 11/11/2025

Resumen

El rápido crecimiento de las ciudades y la intensa construcción han aumentado la demanda de hormigón, lo que hace que los recursos se agoten y rellenen con residuos contaminantes, como los neumáticos viejos. Este artículo de investigación tiene como propósito diseñar y fabricar un bloque de mampostería de hormigón mediante la incorporación de neumáticos reciclados y otras adiciones. La estrategia metodológica desarrollada integra tanto un componente analítico como uno práctico, ya que contempla, por un lado, una indagación bibliográfica exhaustiva y, por otro, la ejecución de una fase experimental. Esta última comprende la elaboración de modelos a escala que posteriormente son evaluados mediante pruebas específicas orientadas a determinar su resistencia bajo compresión simple, su densidad y su capacidad de absorción. Los resultados obtenidos permiten verificar que la adición de caucho reciclado no modificó el procedimiento de vibrocompactación, sin desintegración al desmoldar. A los 28 días, los ensayos de compresión revelaron que los bloques con caucho se agrietaron, pero no se fracturaron debido a la elasticidad. A pesar de la disminución de la resistencia con mayor caucho, cumplen las normas de mampostería no estructural y absorción. Sin embargo, las mezclas con metacaolín superaron los límites y no son aptas estructuralmente. Esta investigación confirma la viabilidad de reutilizar neumáticos en bloques de mampostería: aunque más caucho reduce resistencia, algunos prototipos cumplen estándares, lo que ofrece alternativas sostenibles y amigables para la construcción.

Palabras clave: Aserrín, bloque de hormigón, caucho, hormigón celular, metacaolín.

Abstract

The rapid growth of cities and intense construction have increased demand for concrete, depleting resources, and replacing them with polluting waste such as old tires. The purpose of this research article is to design and manufacture a concrete masonry block by incorporating recycled tires and other additives. The methodological strategy developed integrates both an analytical and a practical component, as it includes, on the one hand, an exhaustive bibliographic investigation and, on the other, the execution of an experimental phase. The latter comprises the development of scale models, which are subsequently evaluated through specific tests aimed at determining their resistance to simple compression, their density, and their absorption capacity. The results obtained confirm that the addition of recycled rubber did not alter the vibrocompaction procedure, with no disintegration upon demoulding. After 28 days, compression tests revealed that the blocks with rubber cracked but did not fracture due to their elasticity. Despite the decrease in strength with more rubber, they meet the standards for non-structural masonry and absorption. However, mixtures with metakaolin exceeded limits and are not structurally suitable. This research confirms the viability of reusing tires in masonry blocks: although more rubber reduces strength, some prototypes meet standards, offering sustainable and environmentally friendly alternatives for construction.

Keywords: Sawdust, concrete block, rubber, cellular concrete, metakaolin.

1. Introducción

La proliferación urbana de las últimas décadas y la expansión de la industria de la construcción han dado lugar a un incremento considerable de la demanda de materiales convencionales, tales como el hormigón y sus derivados (Aguilar et al., 2021). Como resultado, se ha exacerbado la explotación de los recursos naturales no renovables y la generación de residuos altamente contaminantes, entre los cuales se encuentran los neumáticos fuera de uso (Nazer et al., 2019). La escasa disposición de estos residuos es uno de los problemas clave en términos del medio ambiente a escala global; cada año, se desechan millones de toneladas, lo cual resulta en acumulaciones que contribuyen al deterioro estético de las ciudades, la proliferación de los portadores de enfermedades y el riesgo de incendio, con un alto impacto en términos de contaminación (Silva y Delvasto, 2020).

En este sentido, de acuerdo con un informe publicado por la ONU, la industria de la construcción consume un 40% de la energía global, la extracción de hasta el 30% de las materias primas en el entorno, y la generación del 25% de los residuos sólidos. Asimismo, se estima que este sector abarca hasta el 25% del agua y ocupa alrededor del 12% de la superficie terrestre (García et al., 2020). Estas cifras reflejan la necesidad de establecer medidas más sostenibles y eficientes en el sector de la construcción, a fin de reducir su impacto negativo en el medio ambiente y garantizar la protección de los recursos naturales. No obstante, el Banco Mundial ha proyectado que, para el año 2050, los desechos globales aumentarán en un 70%, lo que tendrá un impacto significativo en la salud humana y los entornos locales. En Ecuador, según el anuario publicado por la Asociación de Empresas Automotrices, se estima que cada año se desechan 2.4 millones de neumáticos, pero solo el 30% de ellos recibe un tratamiento adecuado (Peñaloza y Cisneros, 2022).

Ante ello, se hace crucial la búsqueda de alternativas sostenibles, mediante las cuales los diversos desechos puedan ser integrados a ciclos de producción con un impacto en el medio ambiente sustancialmente reducido, además de fomentar la creatividad en el rubro de la construcción. De acuerdo a ello, la formación y fabricación de bloques de mampostería de hormigón con la inclusión de neumáticos reciclados y otras adiciones representa una opción innovadora y adecuada. En el contexto de la construcción, la reutilización de residuos industriales como materias primas se perfila como una opción interesante para la fabricación de materiales de construcción sostenibles.

Por otro lado, en la fabricación de cemento se requiere de un elevado consumo energético, que equivale al 35-40% del consumo de energía eléctrica y al 75-85% de los combustibles fósiles necesarios para producir una tonelada de cemento. En cambio, la producción de metacaolín tiene un impacto ambiental mucho menor, ya que es responsable sólo del 7% de las emisiones mundiales de CO₂ de origen antropogénico y del 5% del consumo de energía en el sector industrial (Martínez, 2012). La sustitución parcial del cemento por metacaolín durante la elaboración de materiales de construcción se presenta como una alternativa atractiva para reducir la huella ambiental en la industria de la construcción. Además de su impacto ambiental positivo, mejora significativamente la resistencia a la compresión y durabilidad de los materiales (Abbas et al., 2010).

La alta demanda de mampostería ha provocado el incremento de materiales extraídos de la naturaleza, lo que puede causar problemas económicos a largo plazo, a causa de la falta de suministro de material y el incremento del costo. Ante este supuesto, se propone la elaboración de bloques de mampostería que aprovechen el uso de distintas proporciones de fibras de caucho reciclado de neumáticos, aserrín, metacaolín, y concreto celular, con el objetivo de aprovechar propiedades, lo que mejoraría las existentes y las haría sostenibles. Por esa razón, el presente estudio se justifica por la necesidad

de aportar soluciones técnicas para la transformación de los neumáticos en desuso en insumos aprovechables para la construcción y, con ello, fomentar la economía circular, la sostenibilidad ambiental y la responsabilidad social empresarial. Esto contribuiría al desarrollo de productos sustitutos que satisfacen las normas técnicas y estándares de calidad. Con ello, se impulsa la innovación en la industria del material de construcción y las posibilidades de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos. Este estudio tiene como propósito diseñar y fabricar un bloque de mampostería de hormigón mediante la incorporación de neumáticos reciclados y otras adiciones.

2. Metodología

La presente investigación se realizó mediante la búsqueda de bibliografía y tiene un enfoque experimental, puesto que tiene como objetivo principal desarrollar bloques de hormigón para muros no estructurales a través de una combinación de fibras de caucho reciclado, metacaolín, aserrín y concreto celular. Además, este proyecto de investigación tuvo un enfoque empírico, ya que se basó en la observación y la medición de los resultados obtenidos en el laboratorio.

La población de este estudio estuvo conformada por 150 bloques de mampostería de hormigón elaborados con adiciones de neumáticos reciclados, metacaolín, aserrín y concreto celular. Sin embargo, para los ensayos de laboratorio se trabajó con una muestra de 60 bloques. Los 90 bloques restantes no fueron considerados, debido a que algunos presentaron fisuras o daños durante el proceso de fabricación, manipulación y curado, mientras que otros no cumplían con las dimensiones y características físicas mínimas requeridas para garantizar una evaluación representativa y confiable. Por lo tanto, se seleccionaron los 60 bloques que se encontraban en mejores condiciones físicas y con medidas más uniformes, lo que aseguró la validez de los resultados.

Se llevaron a cabo ensayos de compresión, absorción y densidad, según lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3066, con el fin de analizar el impacto de las adiciones de neumáticos reciclados y otros materiales en las propiedades físicas y mecánicas de los bloques. Para cada ensayo, se utilizaron tres muestras; además, la misma muestra permitió obtener los datos de densidad y absorción. Se empleó la técnica de observación de campo y ensayos de laboratorio, mediante instrumentos como los cuadernos de notas, fichas de laboratorio y el registro fotográfico.

Población	# Población
Bloque con 0% de caucho y otras adiciones	6
Bloque con 10% de caucho	6
Bloque con 15% de caucho	6
Bloque con 20% de caucho	6
Bloque con 10% de caucho + 10% metacaolín	6
Bloque con 15% de caucho + 10% metacaolín	6
Bloque con 20% de caucho + 10% metacaolín	6
Bloque con 10% de caucho + 10% metacaolín + 10 aserrín%	6
Bloque con 15% de caucho + 10% metacaolín + 15 aserrín%	6
Bloque con 20% de caucho + 10% metacaolín + 20 aserrín%	6
Total	60

Tabla 1. Muestra de bloques con diferentes adiciones

Se consideraron cinco variables principales correspondientes a distintos prototipos de bloques, cada uno con variaciones en los porcentajes de materiales reciclados incorporados respecto a los materiales convencionales, con el propósito de evaluar su influencia en las propiedades físicas y mecánicas del producto (Figura 1). Sin embargo, el prototipo asociado a la quinta variable, correspondiente a bloques de concreto celular, fue excluido de los ensayos, debido a que no alcanzó las condiciones físicas mínimas requeridas para su evaluación experimental. Por este motivo, dicha variable no se presenta en la Tabla 1, aunque se mantiene en la Figura 1, para representar el alcance original del diseño experimental.

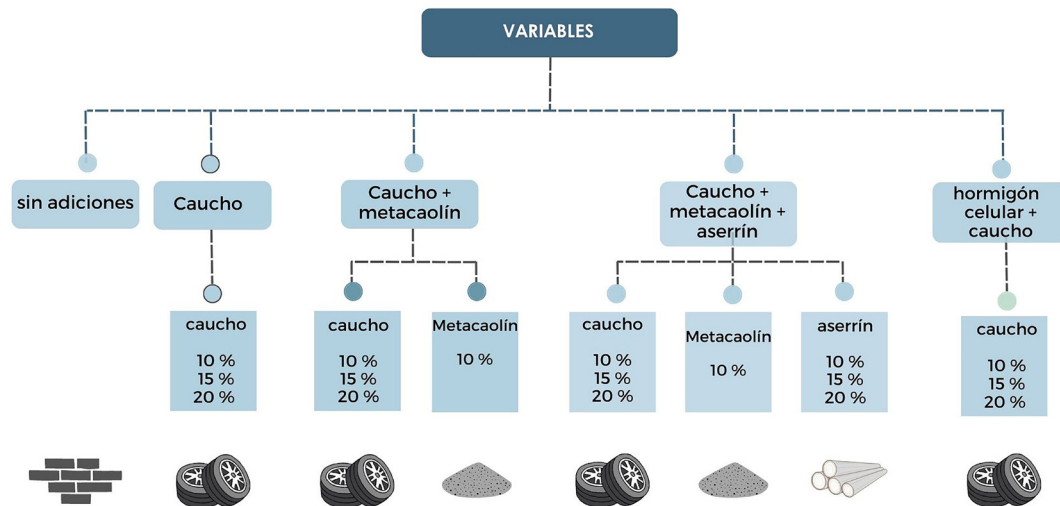


Figura 1. Variables

El proceso de fabricación de los bloques de hormigón comenzó con la selección y pesado de las materias primas según la dosificación. Con pala y carretilla, se trasladaron a un contenedor donde, al agregar agua, se mezclaron hasta obtener una pasta homogénea. Esta mezcla se vertió en los moldes de la máquina bloquera, cuya vibración y compactación garantizan uniformidad. Tras moldear, las piezas se retiraron y almacenaron para su secado y curado al día siguiente; posteriormente, se regaron periódicamente y se eliminó el exceso en los bordes, para lograr un acabado regular (Figura 2).

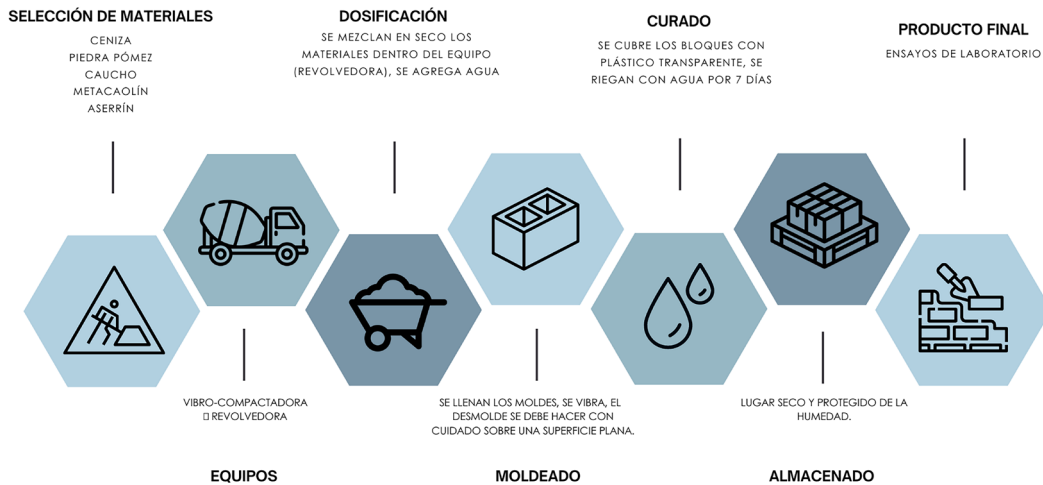


Figura 2. Proceso para la elaboración de los prototipos

Ensayos de laboratorio

a. Ensayo de resistencia a la compresión simple

Después de transcurridos 28 días desde su fabricación, las muestras fueron transportadas al laboratorio de materiales de la Universidad Católica de Cuenca, específicamente al Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT), donde se llevaron a cabo los ensayos de resistencia a la compresión simple. Estos ensayos se realizaron según la norma técnica NTE INEN 3066, a través de la máquina de compresión SHIMADZU CONCRETO 2000X (Figura 3). Se utilizó una báscula UWE SEK-30K, calibrada y con 99% de precisión, para medir masas de hasta 30 kg. Un flexómetro proporcionó medidas exactas de ancho y largo, gracias a su graduación clara y flexibilidad. Además, una placa metálica de 150 mm garantizó una carga uniforme, según la norma ya mencionada.



Figura 3. Máquina de ensayo a la compresión

Se efectuó la prueba de compresión simple conforme al numeral 5.4 de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 639. Se utilizaron tres bloques con las mismas dimensiones y forma, con previo almacenamiento en ambiente seco, protegido entre ellos con una separación de 13mm mínimo para evitar el contacto. Posterior a retirar material suelto y tomar masa y dimensiones, se calibró la máquina SHIMADZU CONCRETO 2000X. Los bloques se colocaron con los alvéolos hacia arriba, protegidos por una placa metálica para asegurar una carga uniforme. La compresión se realizó bajo aplicación de esfuerzo a $1,5 \text{ kg/cm}^2\cdot\text{s}$, y se mantuvo el tiempo de carga entre uno y dos minutos. En el ensayo, se evidenció la formación de fisuras y desprendimiento, según lo establecido en las probetas.

Para el cálculo de la resistencia a la compresión simple, se presenta la siguiente fórmula:

$$(MPa) = \frac{P_{max}}{A_n}$$

Donde:

- $P_{máx}$ = Carga máxima de compresión
- A_n = Área neta de la unidad

b. Ensayo de absorción y densidad

Los ensayos de absorción y densidad se realizaron en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad del Azuay, supervisado por el Ing. Ramiro Bautista. El protocolo seguido fue el indicado en la norma técnica mencionada. La báscula Torrey EQBW-100 se empleó para las mediciones de masa, calibrada y con una precisión del 99%, capaz de soportar hasta 50 kg. El secado de los prototipos se llevó a cabo en un horno eléctrico HUMBOLDT H-30128.4F (Figura 4), lo que garantizó la total eliminación de la humedad, para luego determinar la densidad y absorción de agua.



Figura 4. Horno eléctrico HUMBOLDT H-30128.4F

Para los ensayos de absorción y densidad, los bloques se cortaron con una amoladora provista de disco de diamante conforme a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3066. Se utilizó una canastilla galvanizada de 25cm de diámetro para mantener sumergidos los prototipos y medir su masa en agua. Con base en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 639, los especímenes se clasificaron, sumergieron 27 horas y escurrieron 60 segundos, antes de determinar su masa saturada. Después, se registró la masa sumergida junto con la canastilla. A continuación, los bloques se secaron en el horno HUMBOLDT H-30128.4F a 110 °C durante 22 horas y se anotó su masa en estado seco, para calcular absorción y densidad.

Para el cálculo de la absorción, se ocupó la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 100$$

Donde:

- M_d = Masa de la unidad seca al horno.
- M_s = Masa de la unidad saturada.
- M_i = Masa de la unidad sumergida.

Y para el cálculo de la densidad, se usó la fórmula que indica la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3066:

$$\text{Densidad (D), } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M_d}{M_s - M_i} \times 100$$

Donde:

- M_d = Masa de la unidad seca al horno.
- M_s = Masa de la unidad saturada.
- M_i = Masa de la unidad sumergida.

3. Resultados

Durante el proceso de producción se utilizaron diferentes proporciones de caucho. Se observó que no hubo cambios significativos en el proceso de fabricación, a comparación del procedimiento convencional. El caucho se mezcló con los demás materiales y no existió desintegración o desmoronamiento de los bloques al salir del molde de la máquina de vibro compactadora. Esto demuestra que la inclusión del caucho en el proceso de fabricación de los bloques no presenta desventajas, lo que indica que es factible realizarlo sin ningún problema.

Después de transcurridos 28 días, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio en los prototipos, tanto en aquellos con adiciones como en los bloques sin ninguna adición (0% de adición). El objetivo fue comparar y comprender cómo estas adiciones afectan las propiedades físicas y mecánicas de los prototipos. Después de llevar a cabo los ensayos de compresión, se pudo observar que la incorporación de fibras de caucho mejora la adherencia entre los materiales. Se observó que los bloques con fibras de caucho se trizaron, pero no se fragmentaron en múltiples pedazos, como sucedió con los bloques que no tenían caucho agregado.

Este comportamiento se debe a las propiedades elásticas del caucho, lo que resulta en bloques con características mejoradas. Al analizar los valores de resistencia a la compresión simple de cada prototipo, se observa que, al aumentar el porcentaje de caucho agregado, la resistencia se reduce. Los prototipos a los cuales solo se les agregó caucho en diferentes porcentajes (10%, 15% y 20%) presentaron una disminución en su resistencia en comparación con el prototipo sin adiciones.

Sin embargo, todos los prototipos cumplen con los requisitos de resistencia establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 644 para ser considerados bloques de mampostería no estructural. Además de cumplir con los requisitos de resistencia necesarios, los bloques que únicamente contienen adición de caucho también cumplen de manera satisfactoria con los límites establecidos para la absorción de agua. Por lo tanto, este tipo de bloque puede ser utilizado de manera adecuada en la construcción de mampostería no estructural.

La resistencia de los prototipos que incorporaron caucho y metacaolín se vio considerablemente reducida, sin alcanzar el nivel requerido por la norma. Además, la absorción de agua también experimentó un cambio significativo, al superar el porcentaje establecido por la normativa. Por lo tanto, no se debe usar este tipo de bloque en la construcción, ya que no cumple con las características necesarias para su aplicación.

Tipo de bloque	Bloque Tipo D para mampostería			Bloque Tipo E para mampostería		
	Resistencia	Absorción	Densidad	Resistencia	Absorción	Densidad
Bloque 10% caucho	Cumple	Cumple	Cumple			
Bloque 15% caucho	Cumple	Cumple	Cumple			
Bloque 20% caucho	Cumple	Cumple	Cumple			
Bloque 10% caucho + 10% metacaolín	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
Bloque 15% caucho + 10% metacaolín	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
Bloque 20% caucho + 10% metacaolín	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
Bloque 10% caucho + 10% metacaolín + 10 aserrín	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Bloque 15% caucho + 10% metacaolín + 10% aserrín	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple
Bloque 20% caucho + 10% metacaolín + 10% aserrín	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple

Tabla 2. Resultados de los ensayos de laboratorio

Al analizar el prototipo fabricado con aserrín, metacaolín y caucho, se observa que no alcanza la resistencia requerida para ser considerado un bloque de mampostería no estructural. De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 640, los bloques tipo D (mampostería no estructural) deben presentar una resistencia mínima a la compresión de 2.5 MPa a los 28 días, mientras que los bloques tipo E (alivianamiento) requieren una resistencia mínima de 2.0 MPa. En este caso, los prototipos evaluados no alcanzan el valor exigido para los bloques tipo D; sin embargo, sí cumplen con los requisitos establecidos para su clasificación como bloques tipo E, por lo que pueden emplearse como elementos de alivianamiento en losas.

Una vez realizados los ensayos de laboratorio, se desarrollaron los formatos aplicados a mampostería y losas, con la finalidad de denotar las ventajas por el uso de los bloques.

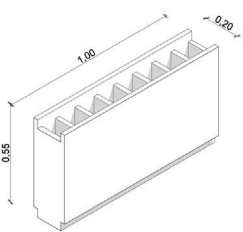
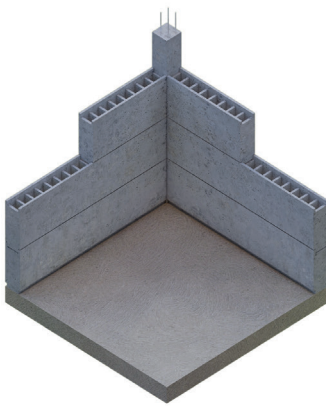




Prototipo		Aplicación	Materiales										
			 Piedra pómez.										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Medidas (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Largo</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Ancho</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Altura</td> <td>55</td> </tr> </tbody> </table>			Medidas (cm)		Largo	100	Ancho	20	Altura	55	 Ceniza volcánica.		
Medidas (cm)													
Largo	100												
Ancho	20												
Altura	55												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Mezclas posibles</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Adición de caucho 10%</td> <td rowspan="3"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Reducen el tiempo montaje requerido para la construcción.</td> </tr> <tr> <td>Requiere menos cantidad de materiales de construcción, como mortero.</td> </tr> <tr> <td>Reducción de los costes de mano de obra.</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td>Adición de caucho 15%</td> </tr> <tr> <td>Adición de caucho 20%</td> </tr> </tbody> </table>		Mezclas posibles		Adición de caucho 10%	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Reducen el tiempo montaje requerido para la construcción.</td> </tr> <tr> <td>Requiere menos cantidad de materiales de construcción, como mortero.</td> </tr> <tr> <td>Reducción de los costes de mano de obra.</td> </tr> </tbody> </table>	Ventajas		Reducen el tiempo montaje requerido para la construcción.	Requiere menos cantidad de materiales de construcción, como mortero.	Reducción de los costes de mano de obra.	Adición de caucho 15%	Adición de caucho 20%	 Cemento.
Mezclas posibles													
Adición de caucho 10%	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Reducen el tiempo montaje requerido para la construcción.</td> </tr> <tr> <td>Requiere menos cantidad de materiales de construcción, como mortero.</td> </tr> <tr> <td>Reducción de los costes de mano de obra.</td> </tr> </tbody> </table>	Ventajas		Reducen el tiempo montaje requerido para la construcción.		Requiere menos cantidad de materiales de construcción, como mortero.	Reducción de los costes de mano de obra.						
Ventajas													
Reducen el tiempo montaje requerido para la construcción.													
Requiere menos cantidad de materiales de construcción, como mortero.													
Reducción de los costes de mano de obra.													
Adición de caucho 15%													
Adición de caucho 20%													
		 Fibras de caucho de neumáticos.											

Figura 5. Formato aplicado a mampostería

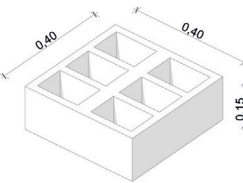
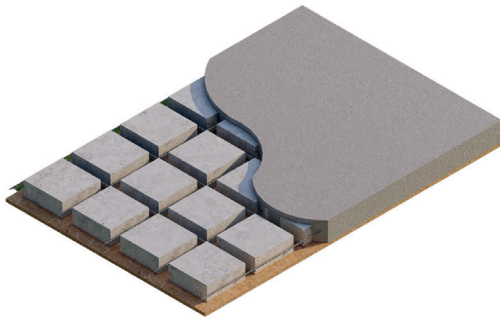






Prototipo		Aplicación	Materiales								
			 Ceniza volcánica.								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Medidas (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Largo</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Ancho</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Altura</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>			Medidas (cm)		Largo	40	Ancho	40	Altura	15	 cemento
Medidas (cm)											
Largo	40										
Ancho	40										
Altura	15										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Mezclas posibles</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Adición de caucho 10% + aserrín 10% + 10% metacaolín</td> <td rowspan="3"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mejora en el aislamiento térmico y acústico.</td> </tr> <tr> <td>Construcción con menos huella de carbono al ser de un material reciclado.</td> </tr> <tr> <td>Reducción de los costes de mano de obra.</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> </tbody> </table>		Mezclas posibles		Adición de caucho 10% + aserrín 10% + 10% metacaolín	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mejora en el aislamiento térmico y acústico.</td> </tr> <tr> <td>Construcción con menos huella de carbono al ser de un material reciclado.</td> </tr> <tr> <td>Reducción de los costes de mano de obra.</td> </tr> </tbody> </table>	Ventajas		Mejora en el aislamiento térmico y acústico.	Construcción con menos huella de carbono al ser de un material reciclado.	Reducción de los costes de mano de obra.	 Piedra pómez.
Mezclas posibles											
Adición de caucho 10% + aserrín 10% + 10% metacaolín	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mejora en el aislamiento térmico y acústico.</td> </tr> <tr> <td>Construcción con menos huella de carbono al ser de un material reciclado.</td> </tr> <tr> <td>Reducción de los costes de mano de obra.</td> </tr> </tbody> </table>	Ventajas		Mejora en el aislamiento térmico y acústico.		Construcción con menos huella de carbono al ser de un material reciclado.	Reducción de los costes de mano de obra.				
Ventajas											
Mejora en el aislamiento térmico y acústico.											
Construcción con menos huella de carbono al ser de un material reciclado.											
Reducción de los costes de mano de obra.											
		 Aserrín.									
		 Fibras de caucho de neumáticos.									
		 Metacaolín									

Figura 6. Formato aplicado a losas

Luego de analizar los resultados obtenidos, se han identificado cuatro prototipos con diferentes porcentajes que demuestran una viabilidad prometedora para su aplicación en proyectos de construcción. Esta constatación lleva a proponer el diseño de nuevos formatos de bloques que puedan mejorar y optimizar los procesos constructivos.

Entre los cuatro prototipos evaluados, se ha observado que tres de ellos son especialmente adecuados para su uso en mampostería. Por otro lado, se ha identificado un cuarto prototipo que se destaca por su eficacia en el alivianamiento de losas. Este bloque en particular, al ser utilizado estratégicamente, puede contribuir a reducir el peso de las losas y optimizar su desempeño estructural.

Si bien es cierto que algunos de los prototipos no cumplen estrictamente con las normativas establecidas para su aplicación en mampostería o losas, debido a su baja resistencia, aún poseen un potencial valioso en otros aspectos de la construcción. Entre las posibles aplicaciones para estos bloques que no cumplen con las normativas establecidas, se encuentran su uso como mobiliario urbano, bordillos de veredas, revestimientos de pisos, elementos decorativos y en aplicaciones de paisajismo y jardinería (Figura 7).



Figura 7. *Mobiliario realizado con bloques*

La incorporación de materiales reciclados, como caucho proveniente de neumáticos usados y aserrín en la fabricación de bloques, contribuye a la gestión sostenible de residuos y a la reducción en el consumo de materias primas vírgenes, lo que se alinea con principios de economía circular. Estos subproductos, que comúnmente se destinan a botaderos o procesos de eliminación con impactos ambientales, encuentran aquí un valor agregado dentro del sector constructivo.

Si bien este estudio se enfocó principalmente en la evaluación mecánica de los bloques y no contempló un análisis cuantitativo del impacto ambiental, se reconoce el potencial de esta propuesta para disminuir la generación de residuos y reducir la extracción de áridos naturales. Adicionalmente, el uso de bloques de gran formato puede optimizar los procesos constructivos, al reducir el número de piezas y la cantidad de mortero requerido.

Como línea futura de investigación, se recomienda realizar una evaluación ambiental cuantitativa que permita determinar, con mayor precisión, los beneficios asociados a esta alternativa constructiva.

4. Discusión

Ahora bien, con los resultados obtenidos en el transcurso de la investigación, se puede concluir que la incrustación de partículas de neumáticos reciclados en la preparación de bloques de hormigón concretado resulta, a todas luces, una técnica sumamente ventajosa y perjudicial. En comparación al concreto convencional, los bloques generados exhiben una disminución en densidad y resistencia a la compresión, coincidiendo con lo expuesto se destaca que el caucho tiende a disminuir la capacidad estructural debido a su naturaleza menos rígida frente a los agregados minerales. Sin embargo, esta disminución de resistencia puede considerarse aceptable en aplicaciones no estructurales, donde la ligereza y el aislamiento adquieren mayor relevancia.

Además, la literatura confirma que el uso de caucho tiene un efecto positivo en la concentración de la energía: absorbe y mejora la resistencia y el comportamiento frente a impactos, lo que también es beneficioso para el uso en aquellos contextos donde la protección y la durabilidad son cruciales. Otros estudios citados en la literatura coinciden en que este tipo de adiciones favorecen la resistencia al agrietamiento y prolongan la vida útil del bloque.

En cuanto a la perspectiva ambiental y social, la reutilización de los neumáticos como agregado alternativo es viable, ya que contribuye a reducir el impacto negativo de los residuos sólidos. Por lo tanto, reduce la sobrecarga de los vertederos, disminuye la cantidad de vertederos y evita la contaminación de la tierra. Además, la solución propuesta también cumple con la tendencia de la economía circular, debido a la necesidad actual de materiales sostenibles en la construcción.

En síntesis, si bien los bloques con adición de caucho no cumplen con las propiedades mecánicas de un hormigón estructural convencional, pueden tratarse como material secundario. Su potencial radica en combinar funciones y sustentabilidad, lo que los convierte en objeto de futuras optimizaciones en términos de dosificación, tratamiento de partículas y compatibilidad de aditivo.

5. Conclusiones

Respecto a la presente investigación, se puede afirmar que ha contribuido a plantear una solución para reutilizar de forma eficiente los materiales que con fuerza son desechados, entre ellos, los neumáticos. Estos, al no ser tratados de forma correcta, están dejando un alto o mayor contaminación ambiental. En cambio, si se les trata de forma acertada, se pueden reutilizar en la fabricación para elementos constructivos, por lo que es una alternativa medioambiental más sostenible y amigable. Respecto a este, se puede afirmar que la meta establecida en este estudio fue lograda, la cual consistió en investigar si era efectivo utilizar fibras de caucho que provienen de neumáticos reciclados y demás adiciones empleadas en la fabricación de bloques de mampostería, como una alternativa para reducir el impacto que tienen sobre el medio ambiente.

Los resultados de esta investigación se cumplirán como punto de partida para abordar el problema de la contaminación, a fin de abordar la contaminación, y serán suficientes en este sentido. Puntualmente, el objetivo específico de esta investigación se ha cumplido, que se refiere al análisis de revisión sobre el uso del neumático reciclado en la fabricación de bloques de concreto. Durante el proceso de análisis y descripción de los estudios revisados en el estado del arte, se ha llegado a una conclusión importante: los resultados obtenidos en esta investigación difieren de los resultados del estudio de Almeida (2011). En dicho estudio, se afirma que la incorporación de caucho mejora la resistencia de los bloques.

A pesar de eso, a través de los ensayos de resistencia a la compresión aplicada a los prototipos fabricados, se ha encontrado que no mantiene el origen antes mencionado. De hecho, se ha identificado que, cuanto más caucho fue empleado en los bloques, menos resistencia tienen. Por ende, se alcanzó de manera satisfactoria el objetivo del diseño y fabricación de los prototipos, debido a la correspondiente cantidad de bloques fabricados, que fueron 150 bloques con distintas adiciones. Asimismo, se alcanzaron los resultados de dosificación para cada tipo de prototipo, y la fabricación y el diseño de los moldes para los prototipos de concreto celular. Sin embargo, es importante mencionar que estos bloques de concreto celular resultaron ser una prueba fallida, ya que no lograron alcanzar las características esperadas; durante el proceso, los bloques se rompieron al momento de ser despegados del molde previamente fabricado.

Como consecuencia, no fue posible realizar las pruebas en el laboratorio para estos bloques, por lo que no se logró obtener los resultados de las propiedades mecánicas y características correspondientes. Sin embargo, se realizaron ensayos para 60 bloques, que analizaron la resistencia a la compresión, densidad y absorción. En todos los casos, se cumplió con lo establecido en las Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3066 y Norma Técnica Ecuatoriana INEN 640. De acuerdo con dichas normas, un bloque es considerado apto para mampostería no estructural si presenta una resistencia a la compresión mayor a 2.5 MPa. En ese contexto, es importante destacar que, en las mezclas con adición exclusivamente de caucho, los prototipos con un 10%, 15% y 20% de incorporación alcanzaron el requerimiento establecido.

Sobre la base de las características identificadas a través de los resultados de los ensayos realizados, se proponen nuevos formatos de bloques para mampostería y se introduce un formato adicional para la aplicación de los bloques para el alivianamiento de las losas. La noción básica de esta argumentación es la optimización del uso de los diversos prototipos y la identificación del uso máximo de sus atributos distintivos. En cuanto a la hipótesis presentada, la validez de la hipótesis se ha verificado durante la fase de discusión, en la que se evaluó la idoneidad de las características de varios prototipos. Por lo tanto, después de realizar los diferentes ensayos, se identificaron tres modelos óptimos como un bloque apto para hacer mampostería. Se ha demostrado que es factible la posibilidad de fabricación de bloques con fibras de caucho.

Para concluir, es necesario subrayar las múltiples ventajas de los productos obtenidos en esta investigación. Primero, la reutilización de los materiales que hasta ahora se consideraban residuos apelemos. En segundo lugar, la oportunidad de trabajar en proyectos sostenibles, si a partir de esta investigación el reciclaje y uso sostenible de los materiales para la producción en la industria de la construcción sea viable. Ambos son signos de esperanza para el futuro sostenible y consciente en la industria de la construcción.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Declaración de contribución de los autores: A continuación, se menciona la contribución de los autores, en correspondencia con su participación, mediante la Taxonomía Crédito:

- Carlos Emmanuel Alvear Peralta: Administración del proyecto, Adquisición de fondos, Análisis formal, Conceptualización, Curaduría de datos, Investigación, Metodología, Recursos, Redacción-borrador original, Redacción-revisión y edición, *Software* y Visualización.
- Juan Carlos Calderón Peñafiel: Supervisión y Validación.

6. Referencias

- Abbas, R., Abo-El-Enein, S. A., y El-Sayed, E. (2010). Propiedades y durabilidad del cemento con adición de metacaolín: Mortero y hormigón. *Materiales de construcción*, 60(300), 33-49. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3358564>
- Aguilar, E. J., Hernández, E. F., y Espinoza, P. A. (2021). Concreto reciclado a partir de escombros de mampostería de bloque de cemento. *Nexo Revista Científica*, 34(05), 7-19. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i05.13099>
- Almeida, N. (2011). *Utilización de Fibras de Caucho de Neumáticos Reciclados en la Elaboración de Bloques de Mampostería para Mitigar el Impacto Ambiental en el Cantón Ambato* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/812909c2-0d7c-4715-93a6-7ce4a3bc58ab/content>
- García, J. A., Quito, J. C., y Perdomo, J. A. (2020). *Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente* [Tesis Pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/16031>
- Martínez, I. (2012). *Estudio de factibilidad económico-financiera de la producción de metacaolín y su utilización en la producción de cemento en la fábrica de cemento de Siguaney, Sancti Spíritus* [Tesis De Pregrado, Universidad Central «Marta Abreu» de la Villas]. <http://hdl.handle.net/123456789/694>
- Nazer, A., Honores, A., Chulak, P., y Pavez, O. (2019). Hormigón sustentable basado en fibras de neumáticos fuera de uso. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(3), 723-729. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.17>
- Peñaloza, V., y Cisneros, M. D. (2022). Análisis económico de productos a partir de reciclados. Caso: Recicladora verde neumático: Economic analysis of products from recycled. Case: Green pneumatic recycler. *RES NON VERBA REVISTA CIENTÍFICA*, 12(1), 158-176. <https://doi.org/10.21855/resnonverba.v12i1.618>
- Silva, Y. F., y Delvasto, S. (2020). Influencia del residuo de mampostería en la resistencia de concretos auto-compactantes al ataque por sulfato de sodio. *Revista EIA*, 17(33), pp. 1-14. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i33.1361>