



Elaboración de Ladrillos Ecológicos a partir de Caucho Reciclado de NFU y Tereftalato de Polietileno (PET)

Ecological Brick Production from Recycled Rubber from EoL and Polyethylene Terephthalate (PET)

Carin Yaquelin Atencio Layme (Autor Corresponsal)

cyatenciol@unjbg.edu.pe

ORCID: 0000-0001-5079-4724

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Aceptación: 07 de mayo de 2025

Publicación: 30 de junio de 2025

Resumen

El objetivo de este estudio es elaborar ladrillos ecológicos utilizando caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU) y tereftalato de polietileno (PET), sustituyendo de forma parcial los materiales de agregado convencionales, y demostrando que cumplen con las propiedades físicas y mecánicas. Con este propósito, se utilizó un método experimental con un enfoque cuantitativo. Se realizaron tres tratamientos con distintas proporciones de PET y NFU: T-12%, T-24% y T-36%. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión disminuyó al aumentar la proporción de plástico y caucho reciclado, siendo la muestra T-12% la que presentó la mayor resistencia (14.82 kg/cm²). En cuanto a la absorción de agua, los ladrillos con una mayor cantidad de PET y NFU mostraron un aumento en la absorción, alcanzando un 11.15 % para el tratamiento T-36%. Por otro lado, el tratamiento T-12% mostró la mayor densidad (1.88 g/cm³), lo que indica que posee mejores características estructurales. Este estudio demuestra que los ladrillos ecológicos elaborados con materiales reciclados como PET y NFU pueden ser una alternativa viable y sostenible para la construcción, aunque se requiere optimizar las proporciones para alcanzar mejores características mecánicas y funcionales. Los resultados obtenidos abren la puerta a nuevas investigaciones sobre la incorporación de materiales reciclados en la construcción, con el potencial de reducir la contaminación y promover un desarrollo más sostenible en el Perú.

Palabras clave: Ladrillos Ecológicos, Caucho, Tereftalato de Polietileno, Mecánicas

Abstract

The objective of this study is to develop ecological bricks using recycled rubber from end-of-life tires (EoL) and polyethylene terephthalate (PET), partially replacing conventional aggregate materials and to demonstrate that they meet physical and mechanical properties. To this end, an experimental method with a quantitative approach was employed. Three treatments were carried out using different proportions of PET and EoL: T-12%, T-24%, and T-36%. The results showed that compressive strength decreased as the proportion of plastic and recycled rubber increased, with the T-12% sample exhibiting the highest strength (14.82 kg/cm²). Regarding water absorption, blocks with higher PET and EoL content showed increased absorption, reaching 11.15% for the T-36% treatment. Conversely, the T-12% treatment recorded the highest density (1.88 g/cm³), indicating superior structural characteristics. This study demonstrates that ecological bricks made with recycled materials such as PET and EoL can serve as a viable and sustainable alternative for construction. However, further optimization of material proportions is necessary to enhance mechanical and functional performance. The findings pave the way for future research on the integration of recycled materials in the construction sector, with the potential to reduce environmental pollution and contribute to more sustainable development in Peru.

Keywords: Ecological Bricks, Rubber, Polyethylene Terephthalate, Mechanics





Introducción

La acumulación de residuos sólidos, como botellas fabricadas con polietileno tereftalato (PET) y los neumáticos fuera de uso (NFU), se han convertido en uno de los mayores desafíos ambientales a nivel global, porque cada año se generan millones de toneladas de PET y neumáticos, cuya disposición final inadecuada afecta gravemente la calidad del suelo, agua y aire ([Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente \[PNUMA\], 2021; Dabic-Miletic, et al. 2021](#)). El prolongado tiempo de degradación de estos materiales corresponde a un rango de 500 a 1,000 años ([Ramírez Antezana, 2022](#)) y, en el caso de los neumáticos fuera de uso, estos presentan una alta resistencia a la degradación, debido a que se requieren cientos de años para que menos del 1% se degraden, esto como consecuencia de su compleja estructura química ([Han et al., 2024](#)), lo cual agrava su impacto. Por un lado, las botellas PET liberan sustancias químicas tóxicas (antimonio, ftalatos, aldehídos) durante su degradación o almacenamiento prolongado, lo cual contamina agua y alimentos ([Dhaka et al. 2022](#)). Por otro lado, los NFU provocan la proliferación de plagas incrementando la incidencia de enfermedades vectoriales como dengue, chikungunya, Zika y otros arbovirus ([González et al. 2020](#)), y, además, en caso de incendios, los NFU liberan gases tóxicos (furano, dioxinas, monóxido de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno) que deterioran la calidad del aire y agravan problemas respiratorios y cardiovasculares ([Ren et al. 2024](#)); por consiguiente ambos tipos de residuos inciden en la contaminación ambiental y representan un riesgo para la salud pública de la población a nivel mundial. Además, el plástico representa el 85 % de los residuos que llegan a los océanos y se proyecta que para el año 2040, los volúmenes de este material que fluirán hacia el mar casi se triplicarán, con una cantidad anual de entre 23 y 37 millones de toneladas, lo que significa alrededor de 50 kg de plástico por metro de costa en todo el mundo. En ese sentido, una reducción drástica del plástico es crucial para enfrentar la crisis global de contaminación ([PNUMA, 2021](#)). Frente a este panorama, la reutilización de materiales entre ellos, el PET y el caucho reciclado en la elaboración de productos como ladrillos y concreto emerge como una alternativa prometedora. Existen investigaciones recientes que han demostrado la mejora de las propiedades mecánicas en los ladrillos ecológicos incorporando PET para su elaboración, tales como la resistencia a la compresión y reducción de la necesidad de cocción, disminuyendo las emisiones de CO₂ asociadas a su producción ([Chen et al. 2024](#)).

El tereftalato de polietileno (PET) es un poliéster termoplástico semicristalino, está compuesto de una matriz polimérica de monómeros de tereftalato de etileno con unidades alternas (C₁₀ H₈ O₄). Las botellas de PET se utilizan comúnmente para bebidas gaseosas. El PET es un material muy compacto y puede ser semirrígido o rígido. También, es un fuerte bloqueador de gases y humedad, y, un gran disuasivo para licores y solventes. Sin embargo, el PET tiene una corta vida útil, un gran volumen de producción y no es biodegradable. Por ello, el PET está ganando permanente participación en el mercado como insumo de producción, debido a su capacidad de reutilización y reciclaje, además porque existe un excedente significativo de residuos posconsumo en forma de botellas y latas ([Paladhi et al. 2022](#)). Existe una creciente preocupación por la contaminación y la toxicidad de los plásticos, debido a que los residuos de tereftalato de polietileno están presente como macroplástico, mesoplástico, microplástico y nanoplástico se encuentra diseminado en el medio ambiente, como en aguas subterráneas, agua potable, suelos y sedimentos. La absorción de plástico por los humanos induce enfermedades, como la reducción de la migración y la proliferación de células madre mesenquimales humanas de la médula ósea y de células progenitoras endoteliales ([Dhaka et al. 2022](#)).

En el sector de la construcción, [Quispe Maquera \(2024\)](#), menciona que la fabricación de ladrillos ecológicos genera menos daño al medio ambiente en comparación con los ladrillos tradicionales y puede ofrecer una mayor durabilidad, dependiendo de los materiales utilizados y del método de producción. Estas piezas tienen similitudes con la construcción de edificaciones naturales sin comprometer su solidez estructural. En ese sentido, los ladrillos de plástico PET son ladrillos que se utilizan para la edificación de muros o pequeñas viviendas fabricadas a partir de botellas PET, a las cuales se les añade material reciclado para aumentar su resistencia. Este tipo de ladrillo cuenta con la solidez necesaria para actuar como aislante y permite un ensamblaje sencillo, facilitando el proceso de construcción ([Chen et al. 2024](#)).

Por otro lado, el neumático es un producto que le permite a un auto desplazarse de manera fluida sobre diferentes superficies debido al revestimiento de goma y el aire que contiene, permitiéndole soportar el peso del vehículo y su carga. Sus funciones principales incluyen la adherencia, el control, la amortiguación y la absorción de impactos, siendo fundamentales la flexibilidad y resistencia ([Jiménez Padilla, 2023](#)). Los neumáticos no están hechos sólo de caucho, lo que representa alrededor del 45 % en peso de su masa, sino también de correas de acero, superposiciones textiles, rellenos de refuerzo y aditivos. La fracción de caucho de los neumáticos se compone de caucho natural y caucho sintético: el caucho natural se utiliza para aumentar la resistencia a la fatiga y al desgarramiento, mientras que el caucho sintético, esencialmente caucho de butadieno y caucho de estireno-butadieno,



determina el rendimiento de los neumáticos, es decir su resistencia a la rodadura, desgaste y tracción. La composición química del neumático le hace extremadamente resistente a los fenómenos de degradación con una permanencia a largo plazo en el medio ambiente. Por lo general, un neumático al término de su vida útil se desecha en vertederos o reservas sin ninguna recuperación del material o de la energía. Se estima que alrededor de 4 mil millones de neumáticos fuera de uso (NFU) se encuentran actualmente en vertederos y reservas en todo el mundo y que esta cantidad aumentará hasta 5 mil millones para el 2030.

Ante la problemática presentada, esta investigación propone la creación de ladrillos ecológicos utilizando caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU) y botellas fabricadas con tereftalato de polietileno (PET), esta iniciativa busca no solo reducir la cantidad de residuos sólidos, sino también ofrecer soluciones sustentables para la construcción, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en lo que respecta al ODS 12, Producción y consumo responsables, al favorecer el uso de materiales de construcción sostenibles orientados a la reducción de la acumulación de residuos peligrosos, como neumáticos y plásticos, en zonas urbanas, así como el reciclado y la reutilización. Asimismo, con el ODS 13, Acción por el clima, al evitar procesos industriales como la cocción de ladrillos tradicionales, disminuyendo las emisiones de CO₂, lo cual ayuda a mitigar el cambio climático ([Organización de las Naciones Unidas \[ONU\], 2015](#)).

En esa línea, [Gambin-Martínez et al. \(2023\)](#) evalúa las propiedades acústicas y térmicas de ladrillos de concreto reciclado (GCR) incorporando grano de caucho reciclado (GCR), de esta manera queda demostrado que los ladrillos ecológicos ofrecen un aislamiento acústico eficaz, con reducciones del 8.5 % en tonos graves, 2.5 % en tonos medios y 0.97 % en tonos agudos. Además, se refleja una mejora térmica significativa, una disminución de 3.90 °C en el diferencial de temperatura en comparación con los ladrillos convencionales, lo cual respalda la viabilidad del GCR como material con propiedades aislantes tanto acústicas como térmicas, contribuyendo a soluciones sostenibles en la construcción. Por su parte, [Arriagada Urzúa et al. \(2024\)](#) confirman que los ladrillos satisfacen las regulaciones establecidas para este tipo de productos artesanales, tales como la NCh 2123, tanto para aquellos que contienen 0 %, 10 % y 20 % de goma en su mezcla, demostrando que es una alternativa favorable incorporar goma en la fabricación de ladrillos en términos de resistencia. A partir de estos antecedentes, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿es factible la elaboración de ladrillos ecológicos a partir de de caucho reciclado de NFU y tereftalato de polietileno (PET)? Para responder a esta interrogante, se plantea la hipótesis general: si se usa caucho reciclado de NFU y tereftalato de polietileno (PET) entonces se obtienen ladrillos ecológicos. Las hipótesis específicas son: si se usa caucho reciclado de NFU y PET, entonces los ladrillos ecológicos tendrán una resistencia a la compresión adecuada para su uso en construcción, si se incorpora caucho reciclado de NFU y PET en la mezcla, entonces se obtiene una densidad adecuada para el uso estructural de los ladrillos ecológicos, si se usa caucho reciclado de NFU y PET, entonces los ladrillos ecológicos alcanzarán una densidad óptima para garantizar su funcionalidad estructural y térmica.

En ese sentido el objetivo general del estudio fue elaborar ladrillos ecológicos a partir de caucho reciclado de NFU y tereftalato de polietileno (PET). Como objetivos específicos se plantearon: determinar la resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos a partir de de caucho reciclado de NFU y tereftalato de polietileno (PET), determinar la absorción de los ladrillos ecológicos a partir de de caucho reciclado de NFU y tereftalato de polietileno (PET), calcular la densidad de los ladrillos ecológicos a partir de caucho reciclado de NFU y tereftalato de polietileno (PET) y analizar las características físicas y mecánicas de ladrillos ecológicos a partir de caucho reciclado de NFU y tereftalato de polietileno (PET).

Método

Enfoque Metodológico

La investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo, aplicando un diseño experimental de tipo completamente aleatorizado con un solo factor: el porcentaje de incorporación de materiales reciclados (NFU y PET) en la mezcla. Este diseño permitió evaluar el efecto de las proporciones sobre las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos ecológicos en condiciones controladas.

Diseño de Estudio

Se diseñó un experimento con tres tratamientos (T-12%, T-24%, T-36%), definidos por el porcentaje de adición de PET y NFU. Cada tratamiento fue evaluado con tres réplicas. La variable independiente fue la proporción de PET y NFU. Las variables dependientes fueron:



- Resistencia a la compresión (kg/cm²)
- Absorción de agua (%)
- Densidad aparente (g/cm³)

Tipo de Estudio

Este estudio se clasifica como una investigación aplicada.

Población y Muestra

La muestra consistió en residuos sólidos urbanos recolectados en la ciudad de Tacna (Perú), incluyendo:

- Botellas de PET posconsumo doméstico.
- Neumáticos en desuso obtenidos de talleres mecánicos y centros de reciclaje.

Fotografía 1

Puntos de Recolección de PET y NFU



Tabla 1

Coordenadas de Recolección PET y NFU

Código	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
Punto de recolección 1 (PET)	8009754.11	367833.97
Punto de recolección 2 (PET)	8010003.46	367947.13
Punto de recolección 3 (PET)	8009961.64	367580.68

En la Fotografía 1 y la Tabla 1 se presentan las ubicaciones geográficas de los puntos de recolección, junto con sus coordenadas correspondientes, para ilustrar la distribución espacial de la muestra utilizada en el estudio.

Técnicas de Recolección de Datos

Tabla 2

Indicadores e Instrumentos

Indicador	Técnica	Instrumentos
Peso	Casero	Balanza digital
Dimensión	Casero	Wincha
Resistencia	Casero	Uso de fórmula
Absorción	Casero	Uso de fórmula
Densidad	Casero	Uso de fórmula

Las pruebas físico-mecánicas se realizaron utilizando instrumentos de bajo costo, como se detalla en la Tabla 2, tales como balanzas digitales (precisión ±0.1 g), recipientes graduados para pruebas volumétricas, moldes de madera estandarizados, y herramientas manuales. Aunque no se contó con





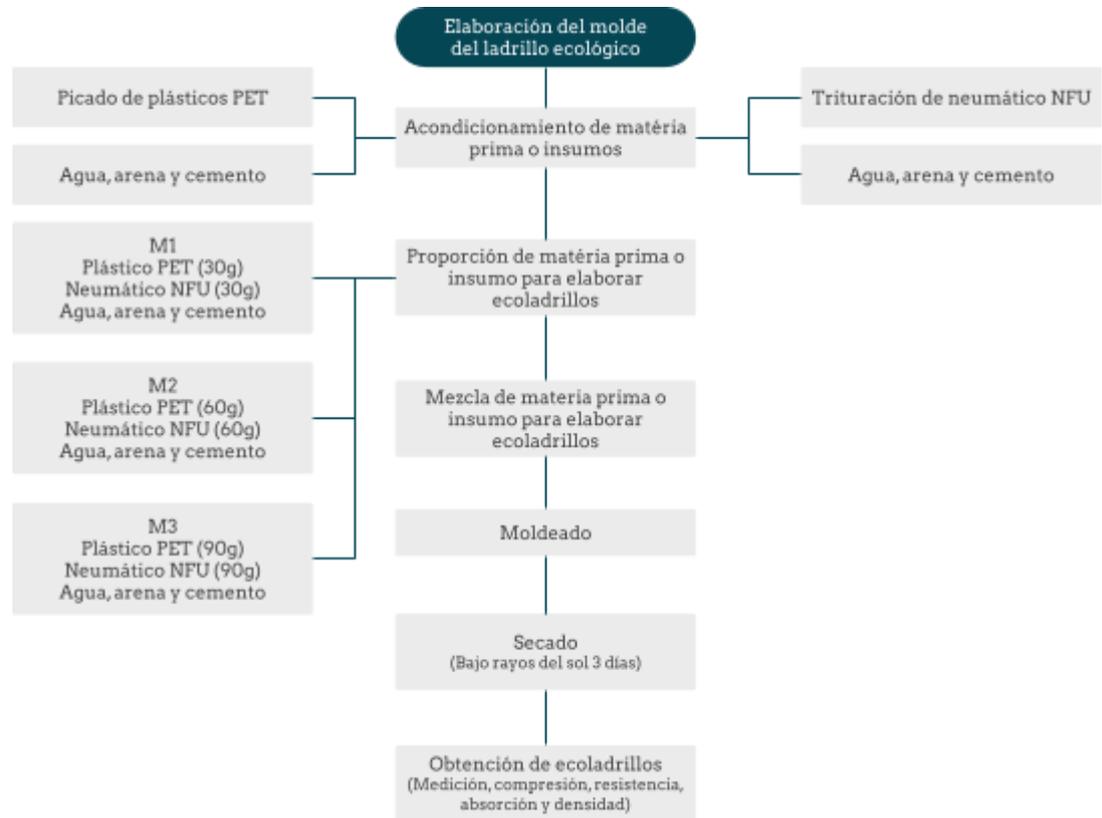
maquinaria industrial, se aplicaron procedimientos estandarizados según la NTP 399.604 (INDECOPI, 2002), adaptando los protocolos a un entorno de laboratorio de bajo presupuesto.

Instrumentos y procedimientos

Procedimiento experimental

Gráfico 1

Principales Etapas del Desarrollo de la Experimentación



Para llevar a cabo el estudio, se realizaron varias fases de experimentación para crear ladrillos ecológicos hechos de PET y NFU, las cuales se muestran en el Gráfico 2.

Preparación de los Ladrillos

Tabla 3

Preparación de Ladrillos Ecológicos

Materia Prima	Tratamiento N°1 12%	Tratamiento N°2 24%	Tratamiento N°3 36%
Caucho Reciclado	6%	12%	18%
PET Granulado	6%	12%	18%
Cemento	50%	50%	50%
Arena Fina	38%	26%	14%

Se elaboraron ladrillos ecológicos a partir de caucho reciclado de NFU y tereftalato de polietileno (PET), según se detalla en la Tabla se aplicaron tres tratamientos experimentales con diferentes proporciones de materiales. El primer tratamiento (T-12%) con 6 % de NFU (30 g), 6 % de PET granulado (30 g), 50 % de cemento (250 g) y 38 % de arena fina (190 g). El segundo tratamiento (T-24%), con 12 % de NFU (60 g), 12 % de PET (60 g), 50 % de cemento (250 g) y 26 % de arena fina (190 g). Por último, el tercer tratamiento (T-36%), con 18 % de NFU (90 g), 18 % de PET (90 g), 50 % de cemento (250 g) y 14 % de arena fina (190 g).



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.2

ABRIL - JUNIO
2025

Artículo Científico
210 - 222

Elaboración de Ladrillos Ecológicos a partir de Caucho Reciclado de NFU y Tereftalato de Polietileno (PET)

Carin Yaquelin Atencio Layme

ORCID: 0000-0001-5079-4724

https://revista.scienceevolution.com



Fotografía 2

Medición de Ladrillos Ecológicos



En la Fotografía 2 se ilustra que cada tratamiento experimental se aplicó a tres unidades experimentales (ladrillos individuales moldeados con dimensiones estándar de 14.00 × 9.00 × 7.50 cm), fabricados en condiciones homogéneas para garantizar la reproducibilidad. Las unidades fueron seleccionadas aleatoriamente para las pruebas de compresión, absorción y densidad.

Procedimientos técnicos

Los ensayos se realizaron de acuerdo con los procedimientos técnicos indicados en la Norma Técnica Peruana NTP 399.604 ([INDECOPI, 2002](#)) y aplicando las siguientes fórmulas:

Cálculo de la Resistencia

Para conseguir la información sobre la resistencia a la compresión de los ladrillos ecológicos, esta evaluación se fundamenta en el método descrito por [Quispe-Maquera \(2024\)](#). Esto se refiere a la carga máxima que es capaz de aguantar una pieza de mampostería. Se examinaron tres muestras estructurales.

$$\text{Resistencia} = P / A$$

Donde:

R = Resistencia característica.

P = Carga máxima.

A = Área bruta del espécimen.

Cálculo de la Absorción de Agua

Para determinar la absorción, se sigue el método mencionado por [Quispe-Maquera \(2024\)](#). Primero, se determina el peso seco de los ladrillos ecológicos con una balanza digital. Después de obtener esta información, se sumergen las muestras en agua durante 24 horas, lo que se considera la prueba en húmedo. El recipiente empleado para este proceso debe estar lleno de agua en su totalidad.

Después, se retira el agua de cada una de las muestras de prueba, se seca con un paño y se pesa en un lapso de 5 minutos.

Con el valor de masa seca obtenido, se puede estimar la absorción. A partir de los resultados obtenidos, se aplica la fórmula correspondiente. La absorción se presenta en forma de porcentaje, conforme a la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción \%} = (W_i - W_d) / W_d \times 100$$

Donde:

W_i = Peso sumergido de la muestra, (kg)

W_d = peso seco de la muestra, (Kg)

Cálculo de la Densidad

Para calcular la densidad de los ladrillos ecológicos, la muestra se pesó en una balanza digital y se registró en gramos. Se colocaron 2.5 litros de agua en una jarra de 4 litros, y luego se introdujo la muestra hasta que quedó completamente sumergida. Se registró el aumento en el nivel del agua utilizando una regla, conforme a la norma NTP 399.604 ([INDECOPI, 2002](#)). Tras obtener los datos, se aplica la fórmula adecuada.



$$\text{Densidad (D)} = m(g) / v(\text{cm}^3)$$

Donde:

D = Densidad

m = Masa

v = Volumen

Análisis de datos

Los datos se analizaron mediante ANOVA de un factor y prueba post hoc de Tukey HSD ($p < 0.05$) para identificar diferencias entre tratamientos. Dado el tamaño reducido de la muestra ($n = 3$ por tratamiento), no se aplicaron pruebas formales de normalidad, ni homogeneidad de varianzas, por lo que los resultados deben interpretarse con precaución. Se recomienda en futuros estudios aumentar el número de réplicas y verificar los supuestos estadísticos para una mayor robustez de los resultados.

Resultados

Resistencia a la Comprensión

Con relación al objetivo uno, se determinó la resistencia a la compresión de las tres muestras de ladrillos ecológicos (T-12%, T-24% y T-36%), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4

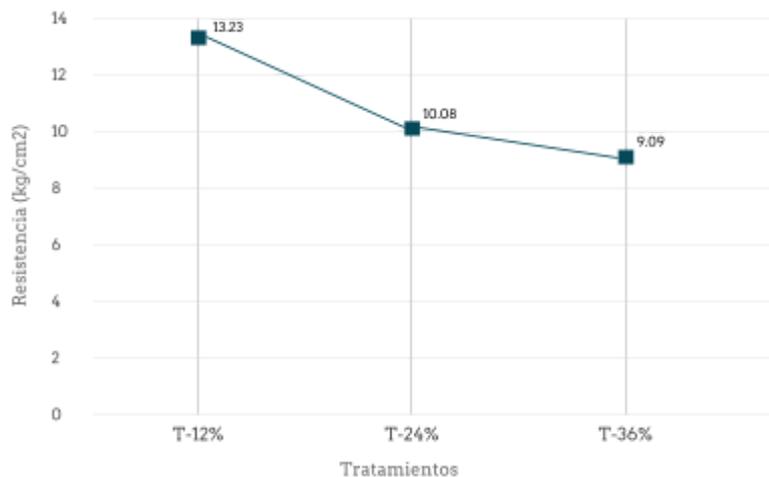
Resistencia a la Compresión de Ladrillos Ecológicos

Tratamiento	Dimensiones (cm)			Área	Carga máxima	Resistencia (kg/cm ²)
	Largo	Ancho	Alto			
T-12%	14	9	7.5	126	1668	13.23
T-24%	14	9.1	7.5	127.4	1284	10.08
T-36%	13.9	8.9	7.5	123.71	1164	9.09

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la prueba de compresión expresados en kg/cm². Para ello, se evaluaron los 3 tratamientos (T-12%, T-24% y T-36%), obteniéndose los siguientes valores de resistencia a la rotura: la primera muestra (T-12%) alcanzó 13.23 kg/cm², la segunda muestra (T-24%) registró 10.08 kg/cm² y la tercera muestra (T-36%) obtuvo 9.09 kg/cm².

Gráfico 2

Resistencia a la Compresión en los 3 Tratamientos



En la Gráfico 2 se muestra una comparación del análisis estadístico descriptivo sobre la resistencia a la compresión de tres muestras (T-12%, T-24% y T-36%). La primera muestra (T-12%) presentó una resistencia de 13.23 kg/cm², fabricada con 30 g de plástico PET y 30 g de caucho NFU. En cambio, la segunda muestra (T-24%) tuvo una resistencia de 10.08 kg/cm², empleando 60 g de plástico PET y 60 g de caucho NFU, mientras que la tercera muestra (T-36%) alcanzó 9.09 kg/cm², con una mezcla de 90 g de plástico PET y 90 g de caucho NFU. La mayor resistencia se observó en la muestra T-12%, con 30 g de plástico PET y 30 g de caucho NFU, superando a las otras muestras.





Tabla 5

Análisis de Varianza sobre los Tratamientos en la Resistencia

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor - P
Tratamiento	29.1984	2	14.5992	149.24	0.0000
Error	0.586933	6	0.0978222		
Total	29.7854	8			

En la Tabla 5 existe diferencia significativa para cada uno de los tratamientos por lo que aceptamos la hipótesis alterna y rechazamos la hipótesis nula con un coeficiente de variabilidad de 18,01 % al 95 % de confianza.

Tabla 6

Prueba de Rango Múltiple Tukey ($p < 0,05$) de cada Tratamiento en la Resistencia

N° Orden	Factor A	Media	Significación
3	T-36%	9.09	a
2	T-24%	10.08	b
1	T-12%	13.23	c

En la Tabla 6 el tratamiento T-12% es el que contiene una mayor resistencia con un promedio 13.2367 kg/cm² y se diferenció de los demás, el tratamiento T-24% y tratamiento T-36%.
Absorción de agua

En consonancia con el objetivo dos, se determinó la absorción de agua de las tres muestras (T-12%, T-24% y T-36%) de ladrillos ecológicos y se llegó a los siguientes resultados:

Tabla 7

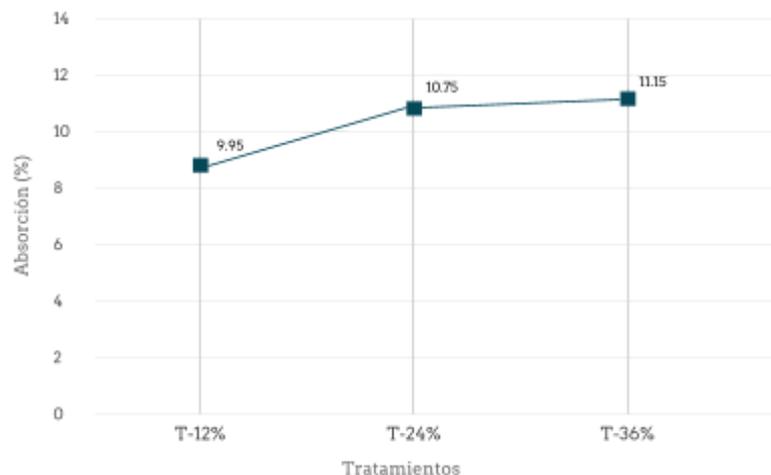
Absorción de Agua en Ladrillos Ecológicos

Tratamiento	Peso (g)		Absorción(%)
	Seco	Saturado	
T-12%	1697	1866	9.95
T-24%	1358	1504	10.75
T-36%	1085	1206	11.15

En las Tablas 7 se aprecia los resultados a la prueba a la absorción de agua en medidas de porcentaje (%) en los 3 tratamientos (T-12%, T-24% y T-36%) de ladrillos ecológicos, donde el tratamiento (T-12%) es de 9.95 %, para el tratamiento (T-24%) es de 10.75 % y para el tratamiento (T-36%) es de 11.15 % para ello se ha realizado según la Norma NTP 399.604, publicado por el [Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual \(INDECOPI, 2002\)](#).

Gráfico 3

Prueba de Absorción de Agua en los 3 Tratamientos



Nota: Coeficiente de variación (CV): 18.01 %. Se consideró un nivel de significancia del 5 % ($p < 0.05$).



En la Gráfico 3 presentan los resultados del análisis estadístico descriptivo de la absorción de agua en las tres muestras (T-12%, T-24% y T-36%). El primer tratamiento (T-12%), fabricado con 30 g de plástico PET y 30 g de caucho NFU, obtuvo un porcentaje de absorción de 9.95 %. El segundo tratamiento (T-24%), compuesta por 60 g de plástico PET y 60 g de caucho NFU, alcanzó un porcentaje de absorción de 10.75 %, mientras que en el tercer tratamiento (T-36%), con 90 g de plástico PET y 90 g de caucho NFU, registró una absorción del 11.15 %.

Tabla 8

Análisis de Varianza sobre los Tratamientos en la Absorción de Agua

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor - P
Tratamiento	2.30149	2	1.15074	164.92	0.0000
Error	0.0418667	6	0.00697		
Total	2.34336	8			

Nota: Coeficiente de variación (CV): 5.11 %. Se consideró un nivel de significancia del 5 % ($p < 0.05$).

En la Tabla 8 existe diferencia significativa para cada uno de los tratamientos por lo que aceptamos la hipótesis alterna y rechazamos la hipótesis nula con un coeficiente de variabilidad de 5,11 % al 95 % de confianza.

Tabla 9

Prueba de Rango Múltiple Tukey ($p < 0,05$) de cada Tratamiento en la Absorción de Agua

N° Orden	Factor A	Media	Significación
1	T-12%	9.95	a
2	T-24%	10.75	b
3	T-36%	11.15	c

En la Tabla 9 el tratamiento T-12% es el que contiene una menor retención con un promedio de 9.92 % y se diferenció de los demás, el tratamiento T-24% y tratamiento T-36%.

Densidad

Con relación al tercer objetivo, se calculó la densidad de los ladrillos ecológicos de las tres muestras (T-12%, T-24% y T-36%) donde se llegó a los siguientes resultados:

Tabla 10

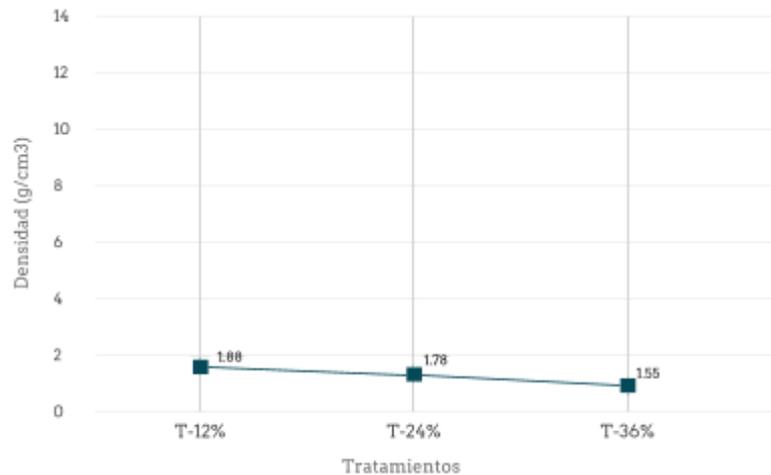
Densidad de Ladrillos Ecológicos

Tratamiento	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
T-12%	1697	900	1.88
T-24%	1358	760	1.78
T-36%	1085	700	1.55

En la Tabla 10 se encuentran los resultados de la prueba de densidad, indicados en kg/m³. Se llevaron a cabo tres experimentos para cada una de las muestras (T-12%, T-24% y T-36%), y los resultados finales fueron los siguientes: el primer tratamiento (T-12%) mostró una densidad media de 1.88 g/cm³, el segundo tratamiento (T-24%) tuvo un promedio de 1.78 g/cm³ y el tercer tratamiento (T-36%) alcanzó un promedio de 1.55 g/cm³. Las pruebas se realizaron de acuerdo a lo estipulado en la Norma Técnica Peruana NTP 399.604.



Gráfico 4
Prueba de Densidad en los 3 Tratamientos



En la Gráfico 4 se presentan los resultados del análisis estadístico descriptivo de la densidad para las tres muestras (T-12%, T-24% y T-36%). La densidad del primer tratamiento (T-12%) fue de 1.88 g/cm³, con una composición de 30 g de plástico PET y 30 g de caucho NFU. En el caso del segundo tratamiento (T-24%), se obtuvo una densidad de 1.78 g/cm³, elaborada con 60 g de plástico PET y 60 g de caucho NFU. Finalmente, el tercer tratamiento (T-36%) presentó una densidad de 1.55 g/cm³, con proporciones de 90 g de plástico PET y 90 g de caucho NFU.

Tabla 11
Análisis de Varianza sobre los Tratamientos en la Densidad

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor - P
Tratamiento	0.1862	2	0.0931	186.20	0.0000
Error	0.003	6	0.0005		
Total	0.1892	8			

Nota: Coeficiente de variación (CV): 8.94 %. Se consideró un nivel de significancia del 5 % ($p < 0.05$).

En la Tabla 11 existe diferencia significativa para cada uno de los tratamientos por lo que aceptamos la hipótesis alterna y rechazamos la hipótesis nula con un coeficiente de variabilidad de 8,94 % al 95 % de confianza.

Tabla 12
Prueba de Rango Múltiple Tukey ($p < 0,05$) de cada Tratamiento en la Densidad

N° Orden	Factor A	Media	Significación
3	T-36%	1.55	a
2	T-24%	1.78	b
1	T-12%	1.88	c

En la Tabla 12 el tratamiento T-12% es el que contiene una mayor densidad con un promedio 1.88 g/cm³ y se diferenció de los demás, el tratamiento T-24% y tratamiento T-36%.

Discusión

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia, absorción y densidad permiten evaluar la viabilidad técnico-ambiental de los ladrillos ecológicos fabricados con caucho reciclado (NFU) y tereftalato de polietileno (PET), en distintas proporciones. A nivel nacional existen estudios que han permitido analizar y comparar los hallazgos de la presente investigación. Con relación a la resistencia a la compresión, la muestra T-12% alcanzó 13.23 kg/cm², superando los valores reportados por [Rebaza Paredes y Quispe Basilio \(2023\)](#), quienes obtuvieron 12.75 kg/cm² con un 10 % de PET, y superando ampliamente el desempeño de mezclas con mayor proporción de PET (0.21 kg/cm² con 30 % de PET).





Este resultado indica que una proporción moderada de materiales reciclados permite mantener una adecuada capacidad estructural. De forma similar, [Arriagada Urzúa et al. \(2024\)](#) hallaron que mezclas con hasta 20 % de caucho también cumplen con la normativa chilena NCh 2123, evidenciando la aplicabilidad regional de estas combinaciones. En cuanto a la absorción de agua, el tratamiento T-12% presentó 9.95%, valor que se encuentra dentro de lo estipulado por la NTP 399.611 ($\leq 20\%$). Este resultado es comparable con estudios previos como el de [Contreras Moreto et al. \(2020\)](#), con 10.24 %, y ligeramente superior al de [Gonzalez \(2020\)](#), con 8.29 %. La tendencia general indica que a mayor proporción de PET y NFU, la absorción aumenta, lo cual concuerda con lo encontrado por [Saud et al. \(2025\)](#), quien identificó una reducción significativa en absorción al mantener bajo el porcentaje de plástico (5%). Respecto a la densidad, el tratamiento T-12% alcanzó 1.88 g/cm^3 , disminuyendo en los tratamientos T-24% y T-36%. Estos valores se sitúan por encima del reportado por [Gonzalez \(2020\)](#), quien obtuvo 0.87 g/cm^3 , y se mantienen dentro de un rango adecuado para garantizar la estabilidad estructural. Estudios como el de [Lizarzaburu-Aguinaga et al. \(2023\)](#) también registraron buenos resultados con proporciones de 12 % a 24 %, señalando al 24 % como la dosificación óptima para asegurar equilibrio entre resistencia, densidad y absorción.

Finalmente, investigaciones internacionales como las de [Ashraf et al. \(2024\)](#) en Egipto y [Saud et al. \(2025\)](#) en Pakistán demuestran que el uso de PET y otros plásticos reciclados mejora propiedades térmicas, químicas y estructurales de los ladrillos, especialmente cuando se utilizan en proporciones moderadas. Esto respalda la viabilidad técnica y ambiental del enfoque adoptado en este estudio, sin comprometer la funcionalidad de las piezas.

[Ashraf et al. \(2024\)](#) fabricaron ladrillos tipo Lego a partir de mezclas de residuos de polietileno (PE) y tereftalato de polietileno (PET) combinados con arena. El objetivo fue evaluar la viabilidad técnica y ambiental de estos materiales alternativos para su uso en la industria de la construcción en Egipto, como sustitutos sostenibles a los ladrillos convencionales de cemento o arcilla. La elaboración se compuso de tres tipos de mezclas, Arena y PE, Arena y PET, Arena y mezcla 50/50 de PE y PET. El proceso implicó que los componentes se calentaron a $200 \text{ }^\circ\text{C}$, permitiendo que el plástico actuará como aglutinante y la arena como material de relleno. Se evaluaron propiedades mecánicas, térmicas y de absorción de agua de las muestras obtenidas. Se detectó que el PET con arena fue el más resistente, alcanzando casi el doble de resistencia que el PE, lo que resultó en la baja absorción de agua y buena conductividad térmica, indicando una alta durabilidad. También, se evidenció un comportamiento dúctil con una elongación del 20 al 30%. Los ladrillos de PET con arena destacan por su alta resistencia a la compresión. La técnica le permitió a los investigadores la reutilización de plásticos de difícil degradación, disminuir el uso de recursos naturales y reducir la huella de carbono del sector construcción. Estos ladrillos presentan potencial para ser utilizados en construcciones livianas, modulares y de bajo impacto ambiental.

Por su parte en Pakistán, [Saud et al. \(2025\)](#) investigó la viabilidad técnica y ambiental de producir ladrillos ecológicos mediante la sustitución parcial de arena con residuos plásticos (PET, HDPE, PVC, LDPE y PP) en proporciones de 5 % a 20 %, encontrando como principales hallazgos, un mejor desempeño con el 5 % de plástico, debido a que proporciona mayor resistencia a la compresión: incremento del 7.8 % respecto a los ladrillos convencionales. Además, se identificó una menor absorción de agua: reducción de un 50 %, lo que mejora la durabilidad y reduce riesgos de deterioro por humedad. Entre las ventajas estructurales detectadas, fueron la ausencia de eflorescencia (formación de manchas blancas por sales), un problema típico en ladrillos convencionales; un mejor comportamiento frente a la salinidad y al encharcamiento, ideal para zonas húmedas o costeras. Asimismo, la resistencia química y térmica frente a ácidos fue una pérdida de masa solo del 2.79 %, lo que indica buena resistencia química, mientras que frente al calor al exponer los ladrillos ecológicos a $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, estos perdieron apenas un 13 % de peso, demostrando alta tolerancia térmica. De esta manera, los ladrillos plásticos resultantes al 5 % de residuos no solo cumplieron con los estándares de calidad, sino que además superan a los convencionales en varios aspectos clave: resistencia, absorción, durabilidad estética y comportamiento ante condiciones químicas y térmicas extremas.

Conclusiones

El presente estudio demostró la viabilidad técnica de elaborar ladrillos ecológicos a partir de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU) y tereftalato de polietileno (PET), sustituyendo parcialmente los agregados convencionales. De los tres tratamientos evaluados, el T-12% (30 g de PET + 30 g de NFU)

presentó el mejor desempeño físico-mecánico, alcanzando una resistencia a la compresión de $13,23 \text{ kg/cm}^2$, una absorción de agua del 9,95% y una densidad de $1,88 \text{ g/cm}^3$, lo que lo posiciona como el más adecuado para aplicaciones no estructurales.



Los valores de absorción y densidad obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa NTP 399.604, lo que sugiere que estos ladrillos podrían emplearse en obras de construcción sostenibles de bajo impacto, especialmente en contextos rurales o en edificaciones complementarias.

Esta propuesta promueve un enfoque innovador y alineado con la economía circular, contribuyendo a la reducción de residuos plásticos y de caucho. No obstante, se identificaron barreras económicas relevantes: el costo de fabricación de ladrillos plásticos podría superar en hasta un 130% al de ladrillos convencionales, lo que limita su adopción masiva sin incentivos o apoyo institucional.

Se recomienda continuar esta línea de investigación considerando: (1) un mayor tamaño muestral; (2) ensayos térmicos, acústicos y de durabilidad a largo plazo; y (3) un análisis de ciclo de vida (ACV) que permita estimar con mayor precisión el impacto ambiental total del producto. Estas acciones contribuirán a consolidar la viabilidad técnica, económica y ambiental de los ladrillos ecológicos basados en residuos sólidos urbanos.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés relacionados con la publicación de este artículo.

Referencias

Arriagada Urzúa, G., Avila Treviño, J. A., & Figueroa Meriño, J. (2024). Influencia en las Propiedades Mecánicas de Ladrillos Artesanales al Incorporar Caucho Triturado en la Fabricación. *RIMI. Revista de Investigación Multidisciplinaria Iberoamericana*, 2(4). <https://doi.org/10.69850/rimi.vi4.112>

Ashraf, N., El-Monayeri, O. D., & Hassan, H. A. (2024). Lego-like bricks manufacturing using recycled polyethylene (PE) and polyethylene terephthalate (PET) waste in Egypt. *Sustainability*, 16(19), 8567. <https://doi.org/10.3390/su16198567>

Chen, L., Yang, M., Chen, Z., Xie, Z., Huang, L., Osman, A. I., Farghali, M., Sandanayake, M., Liu, E., Ahn, Y. H., Al-Muhtaseb, A. H., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2024). Conversion of waste into sustainable construction materials: A review of recent developments and prospects. *Materials Today Sustainability*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.100930>

Contreras Moreto, J. A., Pérez Concha, M. A., & Pérez Concha, R. J. (2020). *Evaluación de la resistencia a la compresión del adobe tradicional a los 20, 28 y 36 días de secado en la ciudad de Jaén – Cajamarca* [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNI/264>

Dabic-Miletic, S., Simic, V., & Karagoz, S. (2021). End-of-life tire management: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(48), 68053–68070. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16263-6>

Dhaka, V., Singh, S., Amith, A. G., Naik, T. S. S. K., Garg, S., Samuel, J., Kumar, M., Ramamurthy, P. C., & Singh, J. (2022). Occurrence, toxicity and remediation of polyethylene terephthalate plastics: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(3), 1777–1800. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01384-8>

Gambin-Martínez, J. S., Bautista-Zapata, T. I., Torrado-Gómez, L. M., Guzmán, M. F. S., & Ruiz, D. D. P. (2023). Ecoladrillos: alternativa para aprovechamiento de arcilla y grano de caucho reciclado. *Inquietud Empresarial*, 23(1), 1–17. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/inquietud_empresarial/article/view/15699

González, M. A., Rodríguez-Sosa, M. A., Vásquez-Bautista, Y. E., del Carmen-Rosario, E., Durán-Tiburcio, J. C., & Alarcón-Elbal, P. M. (2020). Estudio de mosquitos (Diptera: Culicidae) que se desarrollan en neumáticos en República Dominicana: consideraciones sobre un problema acuciante. *Biomédica. Revista del Instituto Nacional de Salud*, 40(3), 507–515. <https://doi.org/10.7705/biomedica.5200>



Han, B., Kumar, D., Pei, Y., Norton, M., Adams, S. D., Khoo, S. Y., & Kouzani, A. Z. (2024). Sustainable transformation of end-of-life tyres into value-added products using thermochemical processes. *Carbon Research*, 3(73).

<https://doi.org/10.1007/s44246-024-00167-4>

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2002). *Norma Técnica Peruana NTP 399.604. Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. 1ª Edición. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales INDECOPI.

Jiménez Padilla, B. (2023). *Técnicas básicas de mecánica de vehículos. MF0623_1* (2ª Ed.). Ic Editorial. La editorial de los Certificados de Profesionalidad y las Cualificaciones Profesionales, 398.

<https://www.iceditorial.com/oper-auxiliares-de-mant-en-electromecanica-de-vehiculos-tmvg0109/10817-tecnicas-basicas-de-mecanica-de-vehiculos-mf06231-2-ed-9788411842020.html>

Lizarzaburu-Aguinaga, D., Farfan Gomez, J. D., Benites-Alfaro, E., Acosta Suasnabar, E., Lizarzaburu Aguinaga, M. G., y Orrego Cumpa, R. (2023). Recycling of Rubber and Polyethylene Terephthalate (PET) to Produce Ecological Bricks in Peru. *Chemical Engineering Transactions*, 101, 199-204.

<https://doi.org/10.3303/CET23101034>

Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Paladhi, A. G., Vallinayagam, S., Rajendran, S., Rathinam, V., & Sharma, V. K. (2022). Chapter 30 - Microalgae: a promising tool for plastic degradation. *Microbes and Microbial Biotechnology for Green Remediation*, 575-587.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90452-0.00049-9>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). *Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente*. UNEP.

<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos/>

Quispe Maquera, R. (2024). *Elaboración de ladrillos ecológicos con plástico PET y papel reciclado, como alternativa para la construcción de viviendas en el distrito de Ilave - 2023* [Tesis de grado, Universidad Privada San Carlos]. Repositorio Alcira.

<http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/845>

Ramírez Antezana, A. V. (2022). *Reciclaje de tereftalato de polietileno*. *Revista de Investigación. Ingeniería y sus alcances*, 6(14), 47-63.

<https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v6i14.90>

Rebaza Paredes, W. C., & Quispe Basilio, M. D. (2023). *Influencia de las cenizas de carbón de piedra en las propiedades fisicomecánicas de un ladrillo ligero en el distrito de Quiruvilca - Santiago de Chuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio UNT

<https://dspace.unitru.edu.pe/items/ea2dcb3d-ba3d-4358-9a8c-d6af90fe8c68>

Ren, T., Zhan, H., Xu, H., Chen, L., Shen, W., Xu, Y., Zhao, D., Shao, Y., & Wang, Y. (2024). Recycling and high-value utilization of polyethylene terephthalate wastes: A review. *Environmental Research*, 249, 118428.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118428>

Saud, H. M., Hassan, R., & Shabbir, U. (2025). Eco-friendly bricks from plastic waste: A sustainable solution for construction and waste management. *Kashf Journal of Multidisciplinary Research*, 2(5), 56-74.

<https://doi.org/10.71146/kjmr444>