

Uso del tereftalato de polietileno (PET), en reemplazo del agregado fino, para la elaboración de unidades de albañilería

Use of polyethylene terephthalate (PET), in replacement of fine aggregate, for the elaboration of masonry units

Nelson Cruz ¹, Robert Leiva ² y Christiaan Apaza ³

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue emplear tereftalato de polietileno (PET) como sustituto del agregado fino en la fabricación de unidades de albañilería, siguiendo las pautas del Reglamento Nacional de Edificaciones - Norma E 0.70 (Albañilería). Se estableció una resistencia a la compresión mínima de 50 kgf/cm² para las unidades de albañilería clase "Bloque P". A través de un diseño experimental, se calcularon las dosificaciones de los agregados en la mezcla del concreto. Se introdujeron porcentajes de hojuelas de plástico PET reciclado (0%, 3%, 6%, y 9%) en la mezcla del "bloque", generando cuatro tratamientos. Después de los 28 días, se realizaron ensayos para evaluar las propiedades de las unidades de albañilería. Los resultados indican que, a medida que aumenta la adición de hojuelas de plástico PET reciclado, las propiedades de las unidades de albañilería "Bloques P" no mejoran significativamente. Se destaca que la disminución en la resistencia a la compresión comienza con la adición del 3% de plástico PET reciclado, aunque las unidades cumplen con los estándares establecidos por la norma E.070.

Palabras clave: Concreto, hojuelas de plástico PET, resistencia a la compresión.

ABSTRACT

The objective of the research was to use polyethylene terephthalate (PET) as a substitute for fine aggregate in the manufacture of masonry units, following the guidelines of the National Building Regulations - Standard E 0.70 (Masonry). A minimum compressive strength of 50 kgf/cm² was established for "P Block" class masonry units. Through an experimental design, the dosages of aggregates in the concrete mix were calculated. Percentages of recycled PET plastic flakes (0%, 3%, 6%, and 9%) were introduced into the "block" mix, generating four treatments. After 28 days, tests were performed to evaluate the properties of the masonry units. The results indicate that, as the addition of recycled PET plastic flakes increases, the properties of the "P-Block" masonry units do not improve significantly. It is noted that the decrease in compressive strength begins with the addition of 3% recycled PET plastic, although the units meet the standards established by E.070.

Key Words: Concrete, PET plastic flakes, compressive strength.

Recibido: 30/09/2023 Aceptado: 23/11/2023

* Autor para correspondencia

1. Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: nelson.cruz@est.unj.edu.pe
2. Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: robert.leiva@est.unj.edu.pe
3. Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: christiaan.apaza@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El agregado fino, una de las materias primas más utilizadas en todo el mundo, ha adquirido una importancia inigualable en la industria de la construcción, siendo considerado como el segundo recurso más valioso después del agua (Vanguardia, 2017). La demanda de este material es cada vez mayor, y su uso se extiende a la producción de una amplia variedad de productos y proyectos, desde ladrillos y asfalto hasta casas y megaproyectos de ingeniería (Elmostrador, 2017). En consecuencia, la industria de la construcción se ha convertido en el mayor consumidor de este recurso vital, lo que subraya la necesidad de una gestión cuidadosa y eficiente de los recursos naturales para garantizar un desarrollo sostenible en el futuro.

En el Perú, el uso de agregados en la elaboración de unidades de albañilería es de gran relevancia debido a la alta demanda que este mercado presenta, especialmente en la zona urbana, donde las edificaciones se construyen predominantemente con bloques o ladrillos de arcilla. Además, se observa una presencia significativa de botellas de plástico, con un bajo porcentaje de reciclaje (0.3% de las 950 mil toneladas de botellas de plástico de bebidas consumidas anualmente, según MINAM). En este sentido, la investigación promueve el reciclaje y la utilización de plástico para reemplazar el agregado fino en la elaboración de unidades de albañilería, contribuyendo así a reducir la contaminación ambiental y fomentar la ecología. Carreño (2020); analiza técnica y económicamente el uso de PET reciclado como reemplazo parcial de áridos finos en hormigones para su uso en Chile, la metodología que se aplicó fue de tipo experimental. Los resultados indican que es posible cuantificar la variación de la resistencia a la compresión para diferentes muestras, es decir que cuando existe una sustitución entre 0.5% y el 20%, existen factores como la cantidad de cemento utilizado, calidad, propiedades, adiciones y forma del PET que pueden producir resultados positivos o negativos, posterior a este porcentaje, se observa una tendencia clara a la disminución de la resistencia en comparación del hormigón patrón, concluyendo así que es posible sustituir desde el 0.5% al 20% de PET en la mezcla y conseguir los resultados esperados.

Valdivia (2019), evaluó las características físico mecánicas de ladrillos de arena gruesa y plástico PET como cementante en porcentajes de PET: 100% (PET 1: Arena Gruesa 0), 80% (PET 1: Arena Gruesa 0.25) y 67% (PET 1: Arena Gruesa 0.5), de acuerdo con a la norma técnica, la metodología que se aplicó es de carácter experimental. Los resultados obtenidos de los ladrillos de PET y arena gruesa indican que de los especímenes ensayados, el ladrillo de PET 80% y arena gruesa 20% arrojaron los resultados más favorables para desarrollar un ladrillo tipo III, ya que se esperaba una mayor resistencia a compresión que la obtenida.

Echeverría (2017), evaluó la resistencia a compresión de ladrillos de concreto incorporando plástico PET reciclado. La metodología adoptada para esta investigación fue de naturaleza experimental. Los resultados obtenidos en términos de resistencia a compresión cumplen con todos los criterios estipulados por la norma E.070. No obstante, se evidencia una resistencia superior en las unidades de albañilería que carecen de hojuelas de PET, clasificadas como tipo IV. Esta resistencia es mayor en comparación con las unidades que contienen PET, clasificadas como tipo III. Además, se observa un comportamiento decreciente proporcional en la resistencia a compresión conforme se aumenta la proporción de PET incorporado en la mezcla.

De la situación expuesta surge la siguiente interrogante: ¿Cuál sería la repercusión del empleo del tereftalato de polietileno (PET) como sustituto del agregado fino en la confección de unidades de albañilería? Los resultados derivados de esta investigación revisten una significativa importancia en la determinación del uso del tereftalato de polietileno (PET) en sustitución del agregado fino para la producción de unidades de albañilería en la localidad de Jaén en el año 2020. Asimismo, estos resultados se erigen como parámetros fundamentales para la fabricación de unidades de albañilería en diversos proyectos vinculados a la ingeniería civil.

El objetivo fue evaluar el uso del Tereftalato de Polietileno (PET), en reemplazo del agregado fino, para la elaboración de unidades de albañilería (bloques) considerando la norma E 0-70 - de Albañilería, para lo cual se planteó una serie de objetivos específicos: Elaboración de unidades de albañilería con porcentajes (0, 3, 6, 9%) de plástico PET; realizar las pruebas (Variación Dimensional, Alabeo, Absorción, Resistencia a la compresión) de las unidades de albañilería; comparar los bloques elaborados de acuerdo a los porcentajes de plástico PET con respecto a la Resistencia de compresión.

MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque metodológico empleado en la investigación fue de naturaleza Inductivo-Analítica. Este método se caracteriza por la inferencia de conclusiones generales a partir de observaciones específicas, siendo utilizado en el análisis de las muestras recopiladas. Se aplicó el método Inductivo al derivar conclusiones generales sobre las características físicas de los agregados y la resistencia a la compresión del concreto a partir de los datos particulares obtenidos de las muestras. La metodología general se sustentó en el método científico, específicamente del tipo explicativo, que adoptó una perspectiva experimental. En este contexto, se llevó a cabo la manipulación de la variable independiente, que consistió en la variación de los porcentajes (0%, 3%, 6% y 9%) de plástico PET reciclado en las unidades

de albañilería (bloques). Este diseño experimental posibilitó la observación de los efectos resultantes en las variables dependientes, a saber, Variación Dimensional, Alabeo, Absorción y Resistencia a la Compresión de las unidades de albañilería (bloques).

Técnicas

Se utilizaron métodos, técnicas y procedimientos estandarizados en el manual de ensayo de materiales y la Norma E.070 (albañilería), que permitieron determinar las propiedades físicas de los agregados, y las propiedades (variación dimensional, alabeo, absorción y resistencia a la compresión) de las unidades de albañilería ver Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Ensayos para determinar las propiedades físicas de los agregados.

Tipo de agregado	Ensayos en agregados	Referencias en la ejecución de ensayo	
Agregado fino	Granulometría	NTP 400.012:2013	MTC E 204
	Contenido de humedad	NTP 339.185:2013	MTC E 215
	Peso unitario suelto y compactado	NTP 400.017:2011	MTC E 203
	Peso específico y absorción	NTP 400.022:2013	MTC E 205
Agregado grueso	Granulometría	NTP 400.012:2013	MTC E 204
	Contenido de humedad	NTP 339.185:2013	MTC E 215
	Peso unitario suelto y compactado	NTP 400.017:2011	MTC E 203
	Peso específico y absorción	NTP 400.021:2013	MTC E 206

Tabla 2. Ensayos para determinar las propiedades de los bloques.

Ensayos de los bloques	Referencia en la ejecución de ensayo	
Resistencia a la compresión	NTP 399.604	
	NTP 399.613	MTC E 704
Variación dimensional	NTP 399.604	
	NTP 399.613	-
Alabeo	NTP 399.613	-
	NTP 399.604	-
Absorción	NTP 399.613	-

RESULTADOS

Evaluación de las Unidades de Albañilería

La evaluación de las propiedades físicas de los agregados, llevada a cabo conforme a las normativas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), proporcionó una base metodológica rigurosa para el diseño y elaboración de 192 bloques.

La incorporación progresiva de porcentajes específicos de plástico PET en las unidades de albañilería, siguiendo las indicaciones precisas de la norma E.070, permitió discernir la influencia de esta variable en las características fundamentales de los bloques resultantes. Este proceso experimental, guiado por el método científico de tipo explicativo, demostró que la variación en el porcentaje de PET incidió de manera significativa en propiedades clave como Variación Dimensional, Alabeo, Absorción y Resistencia a la Compresión.

Tabla 3. Clasificación final de bloques

Tipo	Variación dimensional	Alabeo	Resistencia a compresión	Clasificación final
BP PET 0%	Bloque P	Bloque P	Bloque P	Bloque P
BP PET 3%	Bloque P	Bloque P	Bloque P	Bloque P
BP PET 6%	Bloque P	Bloque P	Bloque NP	Bloque NP
BP PET 9%	Bloque P	Bloque P	Bloque NP	Bloque NP

Unidades de Albañilería con Porcentajes (0, 3, 6, 9%) de Plástico PET.

Para la confección de las unidades de albañilería con las correspondientes adiciones de tereftalato de polietileno (PET), se priorizó inicialmente alcanzar la resistencia mínima requerida de 50 kg/cm² para las unidades de albañilería (bloque P). Con este propósito, se llevaron a cabo ensayos de compresión a las edades de 28 días, empleando 5 dosificaciones de prueba. A través de estas evaluaciones, se determinó que la dosificación más apropiada fue de 1:5.5:2.5, ya que se aproximó de manera óptima a la resistencia solicitada. Las 5 dosificaciones, junto con sus correspondientes resistencia a la compresión, se detallan a continuación (ver Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del ensayo de compresión de los bloques patrón.

Dosificación	7 días		14 días		28 días	
	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio a los 7 días (fb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio a los 14 días (fb)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio a los 28 días (fb)
A 1 : 4 : 2	44.67	44.97	77.42	77.19	101.74	100.83
	45.53		82.13		99.50	
	44.71		72.01		101.24	
B 1 : 4 : 3	40.94	40.32	66.25	66.34	84.37	83.37
	40.32		68.24		83.87	
	39.70		64.54		81.89	
C 1 : 5 : 2	34.74	34.53	56.58	56.58	79.65	78.41
	35.36		58.06		81.64	
	33.50		55.09		73.95	
D 1 : 5 : 3	30.27	30.73	44.67	43.76	59.31	59.22

	30.52		43.42		59.55	
	31.39		43.18		58.81	
E 1: 5.5 :2.5	27.92	28.75	42.93	41.24	58.71	57.74
	28.68		40.10		57.82	
	29.65		40.69		56.70	

Realización de las Pruebas de las Unidades de Albañilería

Ensayo de Variación Dimensional

Se determinó la variación dimensional de largo, ancho y altura de 64 bloques (16 unidades por cada tipo de bloque). La Tabla 5 muestra los porcentajes promedios obtenidos por cada tipo de la variación dimensional, son los siguientes:

Tabla 5. Variación dimensional por cada tipo de bloque con PET.

Tipo	Variación dimensional						clase
	La P(mm)	L%	An P(mm)	A%	Ha P(mm)	H%	
BP PET 0%	259.79	0.08%	155.23	0.15%	101.86	2.99%	Bloque P
BP PET 3%	260.30	0.12%	156.38	0.99%	102.41	2.47%	Bloque P
BP PET 6%	260.17	0.07%	157.95	1.90%	101.33	3.49%	Bloque P
BP PET 9%	260.52	0.20%	157.36	1.52%	103.80	1.15%	Bloque P

Ensayo de Alabeo

Se determinó el alabeo 64 bloques (de 16 unidades por cada tipo de bloque), y se analizó su concavidad y convexidad. La Tabla 6 muestra el promedio obtenido del alabeo por cada tipo.

Tabla 6. Alabeo por cada tipo de bloque con PET.

Tipo	(mm)	Clase
BP PET 0%	1.57	Bloque P
BP PET 3%	1.63	Bloque P
BP PET 6%	2.10	Bloque P
BP PET 9%	1.70	Bloque P

Ensayo de Absorción

Se determinó la absorción de 32 bloques (8 unidades por cada tipo de bloque), para ello se consideró los pesos antes y después del ensayo. La Tabla 7 muestra los resultados de la absorción promedio por cada tipo, cumplen los requisitos de la norma E.070, la cual menciona que los bloques P deben tener una absorción máxima de 12%.

Tabla 7. Absorción por cada tipo de bloque con PET.

Tipo	%
BP PET 0%	4.26
BP PET 3%	5.32
BP PET 6%	5.35
BP PET 9%	5.83

Ensayo de Resistencia a la Compresión

Se determinó la resistencia a la compresión de 32 bloques (8 unidades por cada tipo de bloque), para lo cual se consideró la carga rotura y el área de contacto. Los resultados de la resistencia a compresión se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Resistencia a compresión de los bloques con PET

Tipo	F'b (kg/cm ²)
BP PET 0%	76.73
BP PET 3%	55.75
BP PET 6%	47.72
BP PET 9%	45.57

Todas las resistencias a compresión de los tratamientos cumplen con los estándares especificados por la norma E.070. Sin embargo, se destaca que la unidad de albañilería que incorpora porcentajes de plástico PET del 0% y 3%, clasificada como bloque P, exhibe una resistencia superior en comparación con las unidades que contienen 6% y 9% de PET, clasificadas como bloque NP. Este fenómeno sugiere una tendencia decreciente en la resistencia, proporcional a la cantidad de PET incorporado en la mezcla.

Bloques con porcentajes de plástico PET respecto a la Resistencia de Compresión.

La Figura 1 presenta los tratamientos 01 y 02, caracterizados por proporciones de plástico PET del 0% y 3%, respectivamente, evidenciando la obtención de las mayores resistencias a la compresión en comparación con los demás tratamientos. Concretamente, se registraron resistencias a la compresión de 76.73 kg/cm² y 55.75 kg/cm², lo que indica que ambos alcanzaron y superaron la resistencia a la compresión requerida por la norma de albañilería E.070, establecida en 50 kg/cm². En contraste, en los tratamientos 03 y 04, donde se incorporaron proporciones de plástico PET del 6% y 9%, respectivamente, se observa una similitud en las resistencias alcanzadas. Estos tratamientos exhibieron las resistencias más bajas, registrando valores de 47.72 kg/cm² y 45.57 kg/cm², respectivamente. Es relevante señalar que

estos tratamientos no lograron alcanzar la resistencia a la compresión requerida por la norma E.070, que se establece en 50 kg/cm².

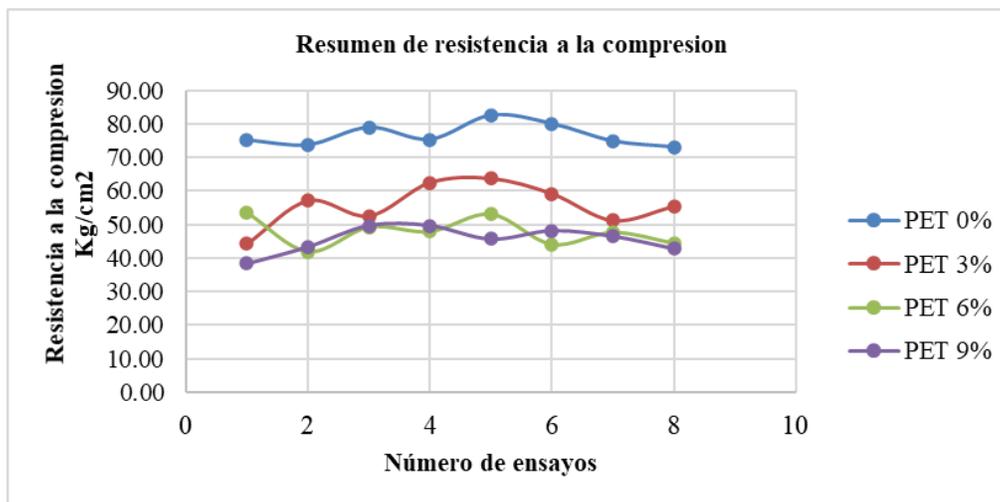


Figura 1. Resumen de Resistencia a compresión

DISCUSIÓN

La investigación realizada sobre el reemplazo de la arena por PET en la elaboración de unidades de albañilería (Bloques P) demostró resultados satisfactorios en la variación dimensional, alabeo y absorción, manteniéndose dentro de los rangos especificados por la norma E.070. A pesar de que la absorción aumenta al incrementar el porcentaje de arena reemplazada por PET, los resultados siguen cumpliendo con los requerimientos de la norma E.070, que establece una absorción máxima del 12% para las unidades de albañilería. Sin embargo, se observó que la resistencia a la compresión disminuye conforme aumenta el porcentaje de arena reemplazada por hojuelas de plástico PET, lo cual coincide con hallazgos previos en investigaciones similares. El análisis estadístico realizado demostró que se cumple con el supuesto de igualdad de varianzas y normalidad, lo que permitió realizar un análisis de varianza (ANOVA) que reveló diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. La prueba POS-ANVAR con la prueba Tukey confirmó que los tratamientos con 0% y 3% de plástico PET alcanzaron la mayor resistencia a la compresión. El uso del Tereftalato de Polietileno (PET) en reemplazo del agregado fino ha demostrado influir positivamente en las características de las unidades de albañilería, mejorando la resistencia a la compresión en un 10%. Estos hallazgos son relevantes en el contexto actual, donde se busca reducir el impacto ambiental y promover el reciclaje de materiales, como lo propone la campaña "Menos plástico, más vida" del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017).

CONCLUSIONES

La evaluación del Tereftalato de Polietileno (PET) como sustituto del agregado fino en la fabricación de unidades de albañilería reveló mejoras en la resistencia a la compresión de los bloques P. Con porcentajes de PET del 0% y 3%, se logró un incremento del 10% en la resistencia, superando los estándares establecidos por la norma E.070 de Albañilería. Las propiedades físicas de los agregados de cantera, así como los ensayos de los bloques elaborados con diferentes porcentajes de PET, demostraron la viabilidad de utilizar PET reciclado en la producción de bloques de albañilería.

Los resultados de las pruebas de variación dimensional y alabeo indicaron cambios mínimos en comparación con los bloques patrón (0% PET), mientras que las pruebas de absorción y resistencia a la compresión mostraron variaciones significativas. Los bloques con 0% y 3% de PET fueron clasificados como "bloque P" para fines estructurales, cumpliendo con los estándares de resistencia establecidos. En contraste, los bloques con 6% y 9% de PET fueron designados como "bloque NP", ya que no cumplían con los requisitos de resistencia establecidos por la norma E.070.

En términos de resistencia a la compresión, se observó que el uso de 0% y 3% de PET superó los estándares normativos, mientras que los porcentajes más altos (6% y 9% de PET) no cumplieron con la normativa. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar cuidadosamente el porcentaje de PET en la mezcla para lograr bloques de albañilería con propiedades mecánicas óptimas. En última instancia, este estudio proporciona una base sólida para la implementación efectiva de PET reciclado en la producción de bloques de albañilería, contribuyendo a la sostenibilidad y a la mejora de las propiedades estructurales de los materiales de construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carreño, C. F. (2020). *Análisis técnico-económico del uso de PET reciclado como reemplazo parcial de áridos finos en hormigones*[Tesis pregrado, universidad de chile]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177847>
- Echeverría, G. E. (2017). *Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado*[Tesis pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1501>
- Elmostrador. (2017). *¿Puede desaparecer la arena?* Obtenido de El mostrador: <https://www.elmostrador.cl/cultura/2017/12/01/puede-desaparecer-la-arena/>

-
- Manual de ensayo de materiales. (2016). *Agregados*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- MINAM. (2017). *Menos plastico mas vida*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/campana-menosplasticomasvida/>
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). *E.070 Albañileria*. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/15N2ZQwZGegdoui4rrjTR6uq5blTu7uyv/view>
- Valdivia, R. (2019). *Evaluación de las características físico mecánicas de ladrillos tipo IV compuesto de arena gruesa y de polímeros PET en base a la norma técnica E-070*[Tesis de bachiller, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2728>