

Influencia de la adición de polietileno tereftalato para mejorar resistencia a la compresión y sus propiedades mecánicas en unidades de albañilería

Influence of the addition of polyethylene terephthalate to improve compressive strength and its mechanical properties in masonry units

Álvaro Fernando Salazar Perales 

Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

* Autor correspondiente: alvaro.sal.per@gmail.com (A. Salazar)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2024.02.03](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2024.02.03)

RESUMEN

Como objetivo determinar la resistencia adquirida con la incorporación de PET reciclado a unidades de albañilería además de conocer sus propiedades mecánicas reciclado tipo pijolo (ladrillo con dos huecos machimbrado), bajo la norma técnica E.070. Se determinaron diseños óptimos de los agregados en la mezcla de concreto para elaborar unidades de albañilería clase IV. Posteriormente se procedió agregar a la mezcla de mortero plástico tipo PET, utilizando una extrusadora con porcentaje de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%, adiciionado material reciclado, presentando la resistencia a compresión su propiedad más influyente, los valores característicos determinados son $f'b = 126,60 \text{ kg/cm}^2$, $f'b = 120,77 \text{ kg/cm}^2$, $f'b = 115,93 \text{ kg/cm}^2$, $f'b = 115,93 \text{ kg/cm}^2$, $f'b = 112,87 \text{ kg/cm}^2$, $f'b = 108,85 \text{ kg/cm}^2$ y $f'b = 106,09 \text{ kg/cm}^2$ para porcentajes de 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% de PET, respectivamente. Se determinó que a mayor cantidad de plástico tipo PET incorporado, la resistencia a la compresión disminuye, aunque otra propiedad tipo alabeo o absorción de humedad, cumplen con la norma E.070:2006, los seis tipos de ladrillos de concreto – PET (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% PET) según sus propiedades se clasifican como ladrillo Clase IV, pudiendo utilizarse estructuralmente.

Palabras clave: Unidad de albañilería; reciclado de PET; resistencia; compresión; NTP E0.070.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the resistance acquired with the incorporation of recycled PET into masonry units, in addition to knowing its mechanical properties, to determine the mechanical properties of the masonry system. Optimal proportions of aggregates were determined in the concrete mix to make class IV masonry unit. Subsequently, PET plastic mortar was added to the mixture, using an extruder with a percentage of 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 25%, adding recycled material, with compression resistance being its most influential property, the determined characteristic values are $f'b = 126.60 \text{ kg/cm}^2$, $f'b = 120.77 \text{ kg/cm}^2$, $f'b = 115.93 \text{ kg/cm}^2$, $f'b = 115.93 \text{ kg/cm}^2$, $f'b = 112.87 \text{ kg/cm}^2$, $f'b = 108.85 \text{ kg/cm}^2$ and $f'b = 106.09 \text{ kg/cm}^2$ for percentages of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% PET, respectively. It was determined that the greater the amount of PET-type plastic incorporated, the compressive strength decreases, although another property such as warping or moisture absorption, comply with the E.070:2006 standard, the six types of concrete bricks - PET (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% PET) according to their properties they are classified as Class IV brick, and can be used structurally.

Keywords: Masonry unit; PET recycling; endurance; extruder; NTP E0.070.

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú y el mundo existe un crecimiento gigantesco respecto al consumo de plástico que sirve como envase de bebidas gasificadas, refrescos y agua, para incrementar este problema, no contamos con plantas recicladoras de PET y, por último, la carencia de la población con respecto a la cultura del reciclaje o más aun de reducir, reciclar y reutilizar, lo que denominamos las 3R. Bajo la necesita de aportar propuestas que mitiguen la falta de plantas recicladores de plástico tipo PET (polietileno tereftalato), (Angumba, 2016), nace la idea de confeccionar unidades de albañilería, utilizando mortero e incorporando PET el cual ha sido triturado por



una extrusadora, que hemos confeccionado y una maquina manual que fabrica estas unidades de albañilería a una escala de producción muy baja, pero nos permite crear prototipos para el análisis en laboratorio. Como aporte en la presente investigación es el diseño de mezclas usando PET en distintas proporciones, determinando la que presente mayor propiedad en resistencia a la compresión, menor alabeo e irregularidad en dimensiones.

El plástico (PET) es un insumo que al ser controlado e incluido en la unidad de albañilería se convierte en un aliado para la resistencia del concreto, reemplazando el agregado grueso y ayudando a sus condiciones físicas, Cisneros y Sánchez (2014). La ciudadanía es una parte fundamental en el proceso de un equilibrio sostenible y la normalización del reciclaje como una medida empleada por todos para la eliminación de residuos. La importancia de los sistemas de reciclaje, así como del desarrollo sostenible juegan un papel destacado dentro de la ciudad de Trujillo.

Buscamos con esta alternativa, reemplazar la unidad de albañilería tradicional y trabajar con un ladrillo resistente y cumpliendo con la norma peruana E 070:2006, Resolución Ministerial N° 011-2006-VIVIENDA

2. METODOLOGÍA

Esta investigación se realizó de manera experimental, debido a que se utilizaron variables que fueron controladas para medir los resultados arrojados. Con un solo factor de control modificable, (Echevarría, E. 2017), reemplazo porcentual de agregado incorporando plástico triturado al mortero y ciñéndose a la indicado por la norma E 070:2006, asimismo, se consideró la norma técnica peruana 399.604 2002, nos brinda el método de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto.

Cabe resaltar que un importante aporte nos brinda la NTP 399.601 2006 (revisada el 2015) ladrillos de concreto, requisitos, aquí la normativa nos proporciona requisitos comunes que pueden aplicarse a los ladrillos de concreto de peso normal y unidades macizas similares destinados para su uso en albañilería estructural o en revestimiento para edificios y otras estructuras. Es importante determinar los parámetros de los insumos y los estándares de la industria para obtener información detallada sobre los requisitos específicos.

El método a usar en el diseño de mezclas es el ACI (American Concrete Institute), asimismo, se realizó tres probetas por cada tipo de proporción en la confección de la unidad de albañilería y los materiales que se utilizó fue cemento portland tipo I, agregados de la cantera del centro poblado El Milagro (autorizado para expender dicho agregado), la relación agua-cemento se realiza para cada diseño de mezclas para la unidad de albañilería.

Para lograr un tamaño de partícula en el PET reciclado para adicionar al ladrillo, fue necesario hacer uno del tamiz N° 10, el cual nos permitió mantener un tamaño de partícula estándar. La proporción de PET se realizó de manera sucesiva, aumentando en 5% del peso.

Tabla 1. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.

CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f_b mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P (1)	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP (2)	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (50)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Fuente: Tomado de Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica peruana E.070:2006

Este proceso describe detalladamente cómo se lleva a cabo la fabricación de los ladrillos de concreto, desde la preparación de los materiales hasta el proceso de curado y desmoldeo. Aquí hay un resumen paso a paso del proceso:

1. Pesaje y medición de materiales: Se pesan las dosificaciones de cemento, agregado fino, confitillo y hojuelas de PET, además de medir el volumen de agua.
2. Mezcla de materiales: Se disponen los materiales en capas, se mezclan con una pala hasta lograr una distribución uniforme, luego se agrega agua en el centro de la mezcla y se cubre con los materiales secos para mezclar todo uniformemente hasta obtener una mezcla homogénea, consistente y de color uniforme.
3. Colocación en el molde: La mezcla de concreto se coloca en un molde metálico sobre una mesa vibradora. La mesa se enciende para vibrar la mezcla y se enrasa para eliminar el exceso de material. El vibrado continúa hasta que aparezca una película de agua en la superficie.
4. Curado inicial: Una vez enrasada la mezcla en el molde, se retira el molde de la mesa vibradora y se lleva al área de curado.
5. Curado: El ladrillo se deja reposar en el molde durante 24 horas para permitir su fraguado y endurecimiento inicial.
6. Desmoldeo: Pasado el tiempo de curado, se procede a desmoldar el ladrillo con cuidado para evitar deformaciones. Se extrae el molde metálico verticalmente levantando sus asas.

Este proceso garantiza la uniformidad, resistencia y durabilidad del ladrillo de concreto una vez terminado. El curado adecuado es crucial para asegurar que el concreto alcance su resistencia óptima.

Según nos indica Adnan, H. M., & Dawood, A. O. (2020), el uso de tiras de PET como armadura en losas de hormigón ofrece ventajas como la mejora de la ductilidad, la resistencia a la fractura y la capacidad de carga, lo que puede contribuir a la construcción de estructuras más seguras y duraderas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis granulométrico del plástico reciclado y triturado cumple con la NTP 400.012:2013, utilizando cribas normadas y el plástico reciclado simula un agregado grueso (arena), pasa más del 50% la malla N° 04. Las dosificaciones se realizan de manera adecuada, cumpliendo una adecuada adherencia entre el mortero y el PET triturado.

La variación dimensional ladrillo de concreto con PET reciclado presenta en sus tres dimensiones Largo 0,03%, ancho 0,12% y altura 0,08%.

El contenido de humedad de mortero utilizando el PET reciclado, se tiene CEM - PET 0% (patrón), CEM - PET 5%, CEM - PET 10%, CEM - PET 15%, CEM - PET 20%, CEM - PET 25%, respectivamente 5,14%, 5,25%, 5,02%, 5,19%, 5,09% y 5,21%.

El peso unitario de volumétrico ladrillo de concreto con PET reciclado en promedio es 1,74 (g/cm³).

Los resultados del ensayo al alabeo a las unidades de albañilería con concreto y PET reciclado en promedio es de 1,17 mm.

Se tiene en promedio al ensayo de absorción a las unidades de albañilería con concreto y PET reciclado de 6,45%.

De acuerdo al ensayo a la resistencia a compresión a las unidades de albañilería con concreto y PET reciclado se tiene que, CEM - PET 0% (patrón), CEM - PET 5%, CEM - PET 10%, CEM - PET 15%, CEM - PET 20%, CEM - PET 25%, respectivamente 126,60 kg/cm²; 120,77 kg/cm²; 115,93 kg/cm²; 112,87 kg/cm²; 108,85 kg/cm² y 106,09 kg/cm².

3.1 Tablas y Figuras

Tabla 2. Ensayo de granulometría

Ensayo N°1					
Tamiz	Tamiz	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Que Pasa
Nomenclatura.	Abertura	(g)	Parcial (%)	Acumulado (%)	(%)
(N°)	(mm)				
N° 4	4,76	680,00	68,00%	68,00%	32,00%

Ensayo N°1					
Tamiz Nomenclatura. (N°)	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje Retenido Acumulado (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
N° 8	2,36	250,00	25,00%	93,00%	7,00%
N° 16	1,19	30,00	3,00%	96,00%	4,00%
N° 30	0,6	20,00	2,00%	98,00%	2,00%
N° 50	0,297	20,00	2,00%	100,00%	0,00%
N° 100	0,149	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
-	Plato	0,00	0,00%	100,00%	0,00%
-	Total	1000,00	100,00%	M.f	5,64

Tabla 3. Variación dimensional de ladrillo de concreto con PET reciclado

VARIACIÓN DIMENSIONAL LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO															
Especimen	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lp	A1	A2	A3	A4	Ap	H1	H2	H3	H4	Hp
CEM - PET 0% (patrón)	240.2	240.30	240.10	240.20	240.20	124.94	124.20	124.30	124.70	124.54	82.2	82.1	82.3	82.2	82.20
CEM - PET 5%	240.1	240.20	240.00	240.30	240.15	124.80	124.70	124.40	124.50	124.60	82.1	82	82.1	82.1	82.08
CEM - PET 5%	240.4	240.10	240.10	240.30	240.23	124.70	124.50	124.70	124.60	124.63	82.1	82.3	82.1	82	82.13
CEM - PET 5%	240.2	240.20	240.30	240.20	240.23	124.50	124.60	124.50	124.20	124.45	82	82.1	82	82.3	82.10
CEM - PET 10%	240.3	240.10	240.20	240.10	240.18	124.60	124.20	124.60	124.30	124.43	82.3	82.3	82.3	82.1	82.25
CEM - PET 10%	240.2	240.40	240.10	240.20	240.23	124.20	124.30	124.20	124.85	124.39	82.1	82.2	82.1	82.3	82.18
CEM - PET 10%	240.1	240.20	240.20	240.10	240.15	124.30	124.85	124.30	124.20	124.41	82.3	82.2	82.3	82.2	82.25
CEM - PET 15%	240.2	240.30	240.10	240.40	240.25	124.85	124.20	124.85	124.00	124.48	82.2	82.1	82.2	82.2	82.18
CEM - PET 15%	240.1	240.20	240.40	240.20	240.23	124.20	124.00	124.20	124.70	124.28	82.2	82	82.2	82.1	82.13
CEM - PET 15%	240.4	240.10	240.20	240.30	240.25	124.00	124.70	124.00	124.10	124.20	82.1	82.1	82.1	82	82.08
CEM - PET 20%	240.2	240.40	240.30	240.20	240.28	124.70	124.10	124.70	124.60	124.53	82	82.2	82	82.1	82.08
CEM - PET 20%	240.3	240.00	240.20	240.10	240.15	124.10	124.60	124.10	124.50	124.33	82.1	82	82.1	82.2	82.10
CEM - PET 20%	240.2	240.10	240.10	240.40	240.20	124.60	124.50	124.60	124.20	124.48	82.2	82.1	82.2	82	82.13
CEM - PET 25%	240.1	240.00	240.40	240.00	240.13	124.50	124.20	124.50	124.60	124.45	82	82.1	82	82.1	82.05
CEM - PET 25%	240.4	240.20	240.00	240.20	240.20	124.20	124.60	124.20	124.10	124.28	82.1	82	82.1	82.1	82.08
CEM - PET 25%	240.0	240.10	240.20	240.10	240.10	124.60	124.20	124.60	124.30	124.43	82.1	82.2	82.1	82.3	82.18
	Largo fabricación		L :		240.00	Ancho fabricación		A :		124.00	Altura fabricación		H :		82.00
	Desv. Estándar		σ :		0.0673	Desv. Estándar		σ :		0.1539	Desv. Estándar		σ :		0.0693
	Largo Promedio		Lp :		240.20	Ancho Promedio		Ap :		124.43	Altura Promedio		Hp :		82.13
	Var. Dimensional		V% :		0.03%	Var. Dimensional		V% :		0.12%	Var. Dimensional		V% :		0.08%

Donde:

$$V(\%) = \frac{(D_e - D_p)}{D_e} * 100$$

Tabla 4. Contenido de humedad ladrillo de concreto con PET reciclado.

CONTENIDO DE HUMEDAD LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO			
Espécimen	Peso Inicial (g)	Peso Seco (g)	Contenido de Humedad (%)
CEM - PET 0% (patrón)	4540,0	4315,0	5,21%
CEM - PET 0% (patrón)	4539,0	4314,0	5,22%
CEM - PET 0% (patrón)	4541,0	4316,0	5,21%
CEM - PET 5%	4530,0	4305,0	5,23%
CEM - PET 5%	4531,0	4306,0	5,23%
CEM - PET 5%	4529,0	4304,0	5,23%
CEM - PET 10%	4520,0	4295,0	5,24%
CEM - PET 10%	4519,0	4294,0	5,24%
CEM - PET 10%	4521,0	4296,0	5,24%
CEM - PET 15%	4514,0	4289,0	5,25%
CEM - PET 15%	4515,0	4290,0	5,24%
CEM - PET 15%	4513,0	4288,0	5,25%
CEM - PET 20%	4499,0	4275,0	5,24%
CEM - PET 20%	4500,0	4276,0	5,24%
CEM - PET 20%	4498,0	4274,0	5,24%
CEM - PET 25%	4483,0	4260,0	5,23%
CEM - PET 25%	4484,0	4261,0	5,23%
CEM - PET 25%	4482,0	4259,0	5,24%
	Contenido de Humedad Promedio		5,23%
	Desviación Estándar		0,000113278
	Contenido de Humedad (%)		5,70%
	Coeficiente de Variación		0,22%

Donde:

$$W\% = \frac{(P_h - P_s)}{P_s} * 100$$

Tabla 5. Peso unitario volumétrico ladrillo de concreto con PET reciclado.

PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO						
Espécimen	Dimensiones (mm)			Volumen (cm³)	Peso Seco (g)	Peso Unit. Vol. (g/cm³)
	Largo	Ancho	Altura			
CEM - PET 0% (patrón)	240,2	124,3	82,3	2457,22	4283,00	1,74
CEM - PET 0% (patrón)	240,4	124,1	82,1	2449,34	4283,00	1,75
CEM - PET 0% (patrón)	240,3	124,4	82,4	2463,21	4283,00	1,74
CEM - PET 5%	240,1	124,2	82,1	2448,26	4285,00	1,75
CEM - PET 5%	240,3	124,3	82,3	2458,24	4285,00	1,74
CEM - PET 5%	242,1	124,2	82,1	2468,65	4285,00	1,74
CEM - PET 10%	240,2	124,1	82,2	2450,29	4278,00	1,75
CEM - PET 10%	240,4	124,4	82,4	2464,23	4278,00	1,74
CEM - PET 10%	240,2	124,3	82,4	2460,21	4278,00	1,74
CEM - PET 15%	240,4	124,2	82,1	2451,32	4281,00	1,75
CEM - PET 15%	240,3	124,1	82,2	2451,31	4281,00	1,75
CEM - PET 15%	242,2	124,3	82,3	2477,68	4281,00	1,73
CEM - PET 20%	240,3	124,2	82,3	2456,26	4279,00	1,74
CEM - PET 20%	240,4	124,1	82,4	2458,29	4279,00	1,74
CEM - PET 20%	240,1	124,2	82,1	2448,26	4279,00	1,75
CEM - PET 25%	240,1	124,3	82,1	2450,23	4280,50	1,75

PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO						
Espécimen	Dimensiones (mm)			Volumen	Peso Seco	Peso Unit. Vol.
	Largo	Ancho	Altura	(cm³)	(g)	(g/cm³)
CEM - PET 25%	240,3	124,4	82,2	2457,23	4280,50	1,74
CEM - PET 25%	240,2	124,1	82,3	2453,27	4280,50	1,74
Peso unitario volumétrico promedio						1,74
Desviación Estándar						0,00589339
Peso unitario volumétrico (g/cm³)						1,74
Coeficiente de Variación						0,34%

Donde:

$$\text{Peso unitario volumétrico (gr/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco (gr)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

Tabla 6. Alabeo ladrillo de concreto con PET reciclado.

ALABEO LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO					
Espécimen	Cara A		Cara B		ALABEO
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	(mm)
CEM - PET 0% (patrón)	0	0	0	1	1
CEM - PET 0% (patrón)	0	0	1	0	1
CEM - PET 0% (patrón)	0	1	0	0	1
CEM - PET 5%	0	0	0	0	0
CEM - PET 5%	0	0	0	1	1
CEM - PET 5%	1	0	1	0	2
CEM - PET 10%	0	2	0	0	2
CEM - PET 10%	0	0	1	0	1
CEM - PET 10%	2	0	1	1	4
CEM - PET 15%	0	3	0	0	3
CEM - PET 15%	0	0	0	0	0
CEM - PET 15%	1	1	0	0	2
CEM - PET 20%	0	0	1	0	1
CEM - PET 20%	1	0	0	0	1
CEM - PET 20%	0	1	1	0	2
CEM - PET 25%	0	1	0	0	1
CEM - PET 25%	2	1	0	0	3
CEM - PET 25%	0	0	0	2	2
Alabeo Promedio				(mm)	1,67

Donde:

$$\text{Alabeo promedio (mm)} = \frac{\text{Conteo de alabeo}}{\text{número de elementos}}$$

Tabla 7. Absorción ladrillo de concreto con PET reciclado

ABSORCIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO			
Espécimen	Peso Seco (g)	Peso Saturado (g)	Absorción (%)
CEM - PET 0% (patrón)	4282	4577	6,45%
CEM - PET 0% (patrón)	4278	4582	6,63%
CEM - PET 0% (patrón)	4279	4579	6,55%
CEM - PET 5%	4285	4598	6,81%
CEM - PET 5%	4280	4604	7,04%
CEM - PET 5%	4284	4612	7,11%
CEM - PET 10%	4277	4611	7,24%
CEM - PET 10%	4284	4626	7,39%

ABSORCIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO			
CEM - PET 10%	4289	4635	7,46%
CEM - PET 15%	4280	4633	7,62%
CEM - PET 15%	4279	4642	7,82%
CEM - PET 15%	4280	4646	7,88%
CEM - PET 20%	4281	4656	8,05%
CEM - PET 20%	4279	4664	8,25%
CEM - PET 20%	4281	4668	8,29%
CEM - PET 25%	4284	4682	8,50%
CEM - PET 25%	4283	4685	8,58%
CEM - PET 25%	4281	4689	8,70%
Absorción Promedio		Abs p :	7,78%
Desviación Estándar Absorción		σ :	0,006028265
Coefficiente de Variación		Abs (%) :	7,18%
		Cv :	7,745%

Donde:

$$Absorción (Abs_{\%}) = 1 - \frac{Peso\ seco}{Peso\ saturado}$$

Tabla 8. Resistencia a compresión ladrillo de concreto con PET reciclado.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO							
Espécimen	Dimensiones (cm)			Área	Carga Máxima	Resistencia	
	Largo	Ancho	Altura	(cm ²)	(kg)	(kg/cm ²)	Mpa
CEM - PET 0% (patrón)	240,2	124,3	82,3	298,57	37800	126,60	11,52
CEM - PET 0% (patrón)	240,1	124,0	82,1	297,72	37650	126,46	11,51
CEM - PET 0% (patrón)	240,3	124,1	82,2	298,21	37650	126,25	11,49
CEM - PET 0% (patrón)	240,4	124,4	82,4	299,06	37650	125,90	11,46
CEM - PET 0% (patrón)	240,1	124,2	82,2	298,20	37650	126,26	11,49
CEM - PET 0% (patrón)	240,4	124,3	82,3	298,82	37650	126,00	11,46
CEM - PET 5%	240,2	124,1	82,2	298,09	30100	100,98	9,19
CEM - PET 5%	240,3	124,3	82,4	298,69	30100	100,77	9,17
CEM - PET 5%	240,1	124,4	82,1	298,68	30100	100,78	9,17
CEM - PET 5%	240,4	124,1	82,2	298,34	30100	100,89	9,18
CEM - PET 5%	240,3	124,3	82,3	298,69	30100	100,77	9,17
CEM - PET 5%	240,4	124,2	82,1	298,58	30110	100,85	9,18
CEM - PET 10%	240,3	124,2	82,3	298,45	29600	99,18	9,02
CEM - PET 10%	240,1	124,3	82,1	298,44	29400	98,51	8,96
CEM - PET 10%	240,2	124,1	82,4	298,09	29324	98,37	8,95
CEM - PET 10%	240,1	124,2	82,3	298,20	29243	98,06	8,92
CEM - PET 10%	240,4	124,3	82,2	298,82	29355	98,24	8,94
CEM - PET 10%	240,3	124,4	82,1	298,93	29374	98,26	8,94
CEM - PET 15%	240,2	124,3	82,3	298,57	27865	93,33	8,49
CEM - PET 15%	240,1	124,2	82,1	298,20	27754	93,07	8,47
CEM - PET 15%	240,3	124,1	82,4	298,21	27802	93,23	8,48
CEM - PET 15%	240,2	124,3	82,3	298,57	27766	93,00	8,46
CEM - PET 15%	240,4	124,3	82,2	298,82	27810	93,07	8,47
CEM - PET 15%	240,1	124,2	82,1	298,20	27712	92,93	8,46
CEM - PET 20%	240,2	124,1	82,0	298,09	26411	88,60	8,06
CEM - PET 20%	240,4	124,2	82,1	298,58	26874	90,01	8,19
CEM - PET 20%	240,3	124,4	82,3	298,93	26976	90,24	8,21
CEM - PET 20%	240,2	124,1	82,2	298,09	26641	89,37	8,13
CEM - PET 20%	240,2	124,2	82,2	298,33	26745	89,65	8,16
CEM - PET 20%	240,1	124,4	82,3	298,68	26922	90,14	8,20
CEM - PET 25%	240,3	124,2	82,3	298,45	25754	86,29	7,85
CEM - PET 25%	240,2	124,3	82,2	298,57	25388	85,03	7,74

RESISTENCIA A COMPRESIÓN LADRILLO DE CONCRETO CON PET RECICLADO							
Espécimen	Dimensiones (cm)			Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia	
	Largo	Ancho	Altura			(kg/cm ²)	Mpa
CEM - PET 25%	240,4	124,2	82,4	298,58	25612	85,78	7,81
CEM - PET 25%	240,1	124,1	82,2	297,96	25719	86,32	7,85
CEM - PET 25%	240,2	124,2	82,3	298,33	25644	85,96	7,82
CEM - PET 25%	240,0	124,3	82,1	298,32	25723	86,23	7,85
Resistencia a compresión promedio (fb)						93,60	8,52
Desviación estándar (σ)						5,59	0,51
Resistencia Característica a Compresión (f'b)						115,00	10,50
Coeficiente variación						5,97%	5,97%

Donde:

$$Resistencia\ a\ la\ compresión\ (Kg/cm^2) = \frac{Carga\ máxima\ (kg)}{área\ del\ elemento\ (cm^2)}$$

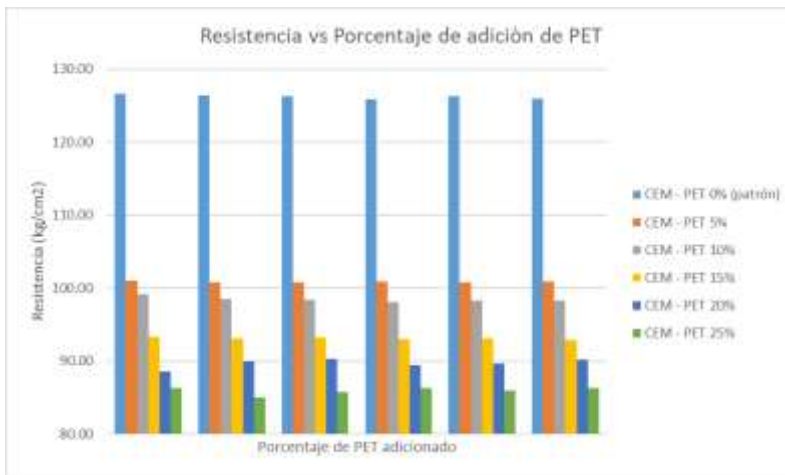


Figura 1: Resistencia vs Porcentaje de adición de PET

Fuente: Propia



Figura 2. Máquina extrusadora, donde se muele el PET.



Figura 3. Maquina manual, donde se confecciona la unidad de albañilería mortero más PET.



Figura 4. Prensa hidráulica para ensayo de compresión axial.

Esta sección debe presentar todos los resultados obtenidos con las informaciones necesarias para verificar con seguridad los valores medidos y significancia correspondiente. Los resultados deben presentarse junto con la discusión, por lo que se sugiere que una discusión a fondo, basada en información de la literatura, sea presentada, Zavala, G. (2015).

En el caso de estudios con repeticiones, poner atención en la presentación de los resultados. Estos deben tener análisis estadístico, incluyendo el desvío estándar de las medidas y barras de error en los gráficos.

Uno o más anexos pueden ser utilizados para presentar detalles de los resultados analizados que conllevarían a la sobrecarga de la sección.

Una cita de un trabajo de tesis realizado por Einer Javier Arrascue Bazan y Marx Engels Cano Herrera en 2017, donde discuten la ejecución de pruebas de laboratorio para determinar el porcentaje óptimo de PET (tereftalato de polietileno) en la construcción de mampostería. Según la cita, realizaron ensayos con diferentes porcentajes de PET (5%, 10% y 15%) y encontraron que el porcentaje óptimo para la construcción civil en mampostería es del 15%, ya que demostró ser más resistente en promedio que los otros porcentajes probados.

Un estudio llevado a cabo por Gonzales y Mendoza en 2021, donde se investigó la fabricación de adoquines peatonales utilizando plástico tereftalato de polietileno (PET). Según el estudio, se determinó que el porcentaje óptimo de adición de PET para obtener la mejor resistencia a la compresión promedio es del 6%, con una resistencia medida de 321 kg/cm². Se encontró que, si se supera este porcentaje, la resistencia a la compresión disminuye. Además, se señala que el porcentaje que influye positivamente en la densidad del adoquín peatonal es del 10%.

El fragmento que proporcionas menciona que el uso de PET en el concreto como refuerzo es una alternativa novedosa en la construcción. Durante las últimas dos décadas, los residuos plásticos, como el PET, han sido objeto de estudio para su integración en el concreto. En lugar de ser utilizados únicamente como agregado, estos residuos se han investigado como un material para reemplazar el agregado convencional o como un aglutinante en combinación con el cemento para reforzar las estructuras de concreto. Esta tendencia sugiere

una búsqueda activa de soluciones sostenibles y eficientes en la industria de la construcción. La cita proviene del trabajo de Adnan y Dawood, publicado en 2020.

El fragmento proporciona una descripción de las propiedades del PET (tereftalato de polietileno) como material. Según Lugo y Torres (2019), el PET es un material que no experimenta estiramiento, es resistente a los ácidos y a los gases atmosféricos, y tiende a absorber bajas cantidades de agua, lo que contribuye a la formación de fibras resistentes y flexibles. Además, el PET es resistente al calor y tiene un punto de fusión elevado, lo que facilita su planchado. También se señala que el PET es resistente a las bacterias, polillas y hongos, lo que lo hace adecuado para una variedad de aplicaciones, incluidas aquellas en las que se requiere durabilidad y resistencia.

3.2 Ecuación

3.2.1. Granulometría

La granulometría se determinó por separación, siguiendo el método de la norma NTP 400.012:2013 y la NTP 399.604.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulad (1 1/2, 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100} \dots(1)$$

3.2.2. Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad (W%) de los agregados, realizamos los procedimientos establecidos en la norma NTP 339.185:2013 y la NTP 399.604.

$$W\% = \frac{(P_h - P_s)}{P_s} * 100 \dots(2)$$

Dónde:

$$P_h = \text{Peso del agregado humedo}$$

$$P_s = \text{Peso del agregado en condiciones secas.}$$

3.2.3. Peso específico y absorción del confitillo

En la norma NTP 400.021:2013 y la norma NTP 399.604 se establece el método de ensayo para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado grueso.

$$P_{em} = \frac{A}{B-C} * 100 \dots (3)$$

$$P_{ess} = \frac{B}{B-C} * 100 \dots (4)$$

$$P_{ea} = \frac{A}{A-C} * 100 \dots (5)$$

$$Ab = \frac{(B-A)}{A} * 100 \dots (6)$$

Dónde:

$$P_{em} = \text{Peso específico (gr/cm}^3\text{)}$$

$$P_{ess} = \text{Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm}^3\text{)}$$

$$P_{ea} = \text{Peso específico aparente (gr/cm}^3\text{)}$$

$Ab = \text{Porcentaje de absorción (gr/cm}^3\text{)}$

$A = \text{Peso de la muestra seca en el aire (gr)}$

$B = \text{Peso de la muestra saturada superficialmente en el aire (gr)}$

$C = \text{Peso en el agua de la muestra saturada (gr)}$

3.2.4. Resistencia a la abrasión

Para determinar la resistencia a la abrasión se procedió de acuerdo a la norma NTP

400.019:2014 y la norma NTP 399.601 2006 (revisada 2015)

$$\% \text{ absorción} = \frac{(\text{Peso}_{\text{original}} - \text{Peso}_{\text{final}})}{\text{Peso}_{\text{original}}} * 100 \dots (7)$$

3.2.5. Variación dimensional

Esta característica se obtuvo al comparar las dimensiones reales de las unidades con las dimensiones previstas para su elaboración (D_e).

Para cada unidad se midió, en la parte media de cada cara, el largo (L), ancho (A) y altura (H); obteniendo la dimensión promedio D_p (largo, ancho y alto). La variación dimensional se determinó usando la siguiente fórmula para cada medida:

$$V(\%) = \frac{(D_e - D_p)}{D_e} * 100 \dots (8)$$

Dónde:

$V = \text{Variación dimensional (\%)}$

$D_e = \text{Dimensión prevista para su elaboración (mm)}$.

$D_p = \text{Dimensión promedio (mm)}$.

3.2.6. Absorción.

Las unidades seleccionadas se secaron en la estufa a $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas para obtener un peso seco constante (P_1); luego, cada unidad se introdujo totalmente en agua potable durante 24 horas, luego se retiró del agua y registró su peso saturado (P_3). La absorción está expresada en porcentaje, según la siguiente fórmula:

$$A(\%) = \frac{(P_3 - P_1)}{P_1} * 100 \dots (9)$$

Dónde:

$A = \text{Absorción (\%)}$

$P_1 = \text{Peso seco (gr)}$.

$P_3 = \text{Peso saturado (gr)}$.

3.2.7. Resistencia a la compresión.

El ensayo se realizó con unidades secas, a las cuales se les refrentó con yeso-cemento para uniformizar el contacto entre éstas y los cabezales de la máquina de compresión, se tomó como referencia la norma NTP 399.601 2006 (revisada 2015).

La resistencia a compresión unitaria f_b se determinó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta (unidades sólidas) o entre el área neta (unidades huecas). Y la resistencia a compresión característica f'_b se obtuvo restando una desviación estándar al promedio de los resultados de resistencia unitaria a compresión

$$f'_b = f_b - \sigma \dots (10)$$

$$f_b = \frac{R}{A} \dots (11)$$

Dónde:

f'_b = Resistencia a compresión caracterizada (kg/cm²)

f_b = Resistencia unitaria a compresión (kg/cm²)

σ = Desviación estándar (kg/cm²)

R= carga de rotura (kg)

A= Área (cm²)

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a la unidad de albañilería patrón PET con 0,0% de PET, las propiedades físicas de los tipos de ladrillo de concreto - PET (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% de PET) en relación a la variación dimensional, contenido de humedad, porcentaje de vacíos y alabeo no obtiene gran significancia, esto debido a que se la máquina de fabricación de ladrillo es estándar y se maneja bajo condiciones controladas.

Con respecto al ensayo de absorción de agua, el mayor valor se da cuando se incorpora el 25% en un rango del 8,50% al 8,70%, seguido del 20% de incorporación de PET del 20% en un rango del 8,05% al 8,29%, continua el 15% de incorporación de PET en un rango del 7,62% al 7,88%, de manera inferior está el 10% de incorporación de PET en un rango del 7,24% al 7,47% y por último el 5% de incorporación de PET en un rango del 6,81 % al 7,11%, por lo se concluye que a mayor incorporación de PET mayor será el porcentaje de absorción.

De acuerdo a la unidad de albañilería patrón PET con 0,0% de PET, las propiedades físicas de los seis tipos de ladrillo de concreto - PET (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% de PET) en lo que respecta a el peso unitario volumétrico disminuye un máximo de 12%, debido a que el peso específico de los agregados reemplazados es mayor al peso específico del plástico reciclado reemplazante.

De acuerdo a la unidad de albañilería patrón PET con 0,0% de PET, la resistencia a compresión de los seis tipos de ladrillo de concreto – PET son $f'_b = 126,60$ kg/cm², $f'_b = 120,77$ kg/cm², $f'_b = 115,93$ kg/cm², $f'_b = 115,93$ kg/cm², $f'_b = 112,87$ kg/cm², $f'_b = 108,85$ kg/cm² y $f'_b = 106,09$ kg/cm² kg/cm², para porcentajes de 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% de PET, respectivamente, logrando presentar una disminución de la resistencia a compresión de 20,51 kg/cm² o 11,50%. Es decir, a mayor adición de PET a la unidad de albañilería con mortero, menos resistencia a la compresión axial.

De acuerdo a la unidad de albañilería patrón PET con 0% de PET, los seis tipos de ladrillos de concreto – PET (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% PET) según sus propiedades se clasifican como ladrillos Clase III y el ladrillo patrón (0% PET) se clasifica como ladrillo Clase IV, todos pudiendo ser utilizados estructuralmente.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional de Trujillo, por brindarme los conocimientos científicos oportunos, al laboratorio de ingeniería en materiales SalPerlab y al Dr. Wilson Reyes Lázaro por su apoyo y acompañamiento académico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adnan, H. M., y Dawood, A. O. (2020). Strength behavior of reinforced concrete beam using re-cycle of PET wastes as synthetic fibers. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00367. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00367>
- Angumba, P. (2016). Ladrillos Elaborados con Plástico Reciclado (PET), para Mampostería no Portante. Cuenca, Ecuador. Universidad de Cuenca.

- Arrascue Bazan, E. J., y Cano Herrera, M. E. (2017). Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la fabricación de ladrillos vibro compactado de cemento. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa). <https://core.ac.uk>
- Cisneros, M y Sánchez, J. (2014). Plan de negocio para planta recicladora de PET. (Tesis de maestría, Universidad del Pacífico). <https://core.ac.uk>
- Echevarria, E. (2017). Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca). <https://core.ac.uk>.
- Gonzáles, C y Mendoza, L. (2021). Influencia del porcentaje de plástico PET reciclado en reemplazo del agregado grueso sobre las propiedades de los adoquines peatonales. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Trujillo: Universidad Católica de Trujillo Bendicto XVI, 2021.
- INDECOPI. 2013. AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. NTP 400.012. 3 ed. Lima, Perú.
- INDECOPI. 2011. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (Peso unitario) y los vacíos en los agregados. NTP 400.017. 3 ed. Lima, Perú.
- INDECOPI. 2002. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. NTP 400.019.
- INDECOPI. 2013. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. NTP 400.021.
- INDECOPI. 2002. ALBAÑILERÍA. Método de muestreo y ensayo, unidades de albañilería de concreto. NTP 399.604. Lima, Perú.
- Lugo Mejia, J., y Torres Peres, Y. (2019). Caracterización del comportamiento mecánico del Concreto Simple con adición de Fibras poliméricas recicladas PET. Universidad Católica de Colombia.
- Norma técnica peruana NTP 399.601 2006 (revisada 2015), UNIDADES DE ALBAÑLEÚA. Ladrillos de concreto.
- Norma técnica peruana NTP 399.604 (2002), UNIDADES DE ALBAÑLEÚA, métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto.
- Plásticos mecanizables. 2017. Politereftalato PET (en línea, sitio web). http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_pet.html
- Zavala, G. (2015). Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado. Informe Final. Santa Tecla, El Salvador. ITCA Fepade.