

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Parámetros físicos y mecánicos de ladrillos ecológicos hechos
a base de material reciclado (plástico PET) para Construcción:
Una Revisión**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería Ambiental

Autor:

Alessandra Adriana Ampuero Antazu
Patricia Lisbet Romero Bueno

Asesor:

Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas

Lima, diciembre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Parámetros físicos y mecánicos de ladrillos ecológicos hechos a base de material reciclado (plástico PET) para Construcción: Una Revisión”** constituye la memoria que presenta el (la) / los estudiante(es) Alessandra Adriana Ampuero Antazu y Patricia Lisbet Romero Bueno para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 23 días del mes de diciembre del año 2020.



Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a..... 23..... día(s) del mes de..... diciembre.....del año 2020.... siendo las.... 08:30....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

..... Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodríguez....., el (la) secretario(a): ... Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio....

..... y los demás miembros:

..... y el (la) asesor(a) ... Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas.....

..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: Parámetros físicos y mecánicos de ladrillos ecológicos hechos a base de material reciclado

(plástico PET) para Construcción: Una Revisión

..... de los (las) candidato (as): a) Alessandra Adriana Ampuero Antazu.....

..... b) Patricia Lisbet Romero Bueno.....

..... c).....

..... conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

..... Ingeniería Ambiental.....

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Alessandra Adriana Ampuero Antazu

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

Candidato/a (b): Patricia Lisbet Romero Bueno

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy bueno	

Candidato/a (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

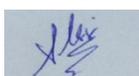
() Ver parte posterior*

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

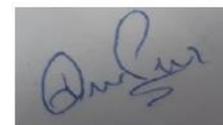
Presidente/a



Asesor/a



Candidato/a (a)



Secretario/a

Miembro



Candidato/a (b)

Miembro

Candidato/a (c)

Parámetros físicos y mecánicos de ladrillos ecológicos hechos a base de material reciclado (plástico PET) para Construcción: Una Revisión

Alessandra Ampuero Antazu, Patricia Romero Bueno

alessandraampuero@upeu.edu.pe; patriciaromero@upeu.edu.pe

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

Actualmente en países subdesarrollados existe un deficiente tratamiento de los residuos sólidos plásticos, los cuales generan graves impactos en los recursos naturales. En su mayoría estos están comprendidos por plásticos potencialmente reciclables, como envases PET (tereftalato de polietileno). Investigadores de distintos países han visto la necesidad de corregir este acúmulo de plásticos PETs, innovando su reaprovechamiento con la elaboración de ladrillos ecológicos que contienen en su composición elementos plásticos, cemento y arena. Por ello, el objetivo de este artículo es hacer una revisión de las publicaciones actuales sobre los valores más aceptables de los parámetros físicos y mecánicos de los ladrillos con agregado PET, para que puedan ser usados de forma segura en la edificación de viviendas. Para este fin, se realizó una revisión sistemática de 20 artículos científicos provenientes de diferentes países, extraídos de bases de datos como Scielo, ScienceDirect, entre otras. Además, fueron revisadas 2 normas internacionales de construcción. Con este criterio de búsqueda, fueron encontrados parámetros de resistencia a la compresión, absorción, densidad, aislamiento térmico y durabilidad. Finalmente, concluimos que las observaciones sobre las características mecánicas y físicas de los ecoladrillos en base a compuestos poliméricos cumplen el valor mínimo requerido por las normativas de construcción.

Palabras clave: Ladrillo; ecológico; plástico; parámetros mecánicos; parámetros físicos

Abstract

Currently in underdeveloped countries there is a deficient treatment of solid plastic waste, which generates serious impacts on natural resources. These are mostly comprised of potentially recyclable plastics, such as PET (polyethylene terephthalate) containers. Researchers from different countries have seen the need to correct this accumulation of plastics PETs, innovating their reuse with the development of ecological bricks that contain plastic elements, cement and sand in their composition. Therefore, the objective of this article is to review current publications on the most acceptable values of the physical and mechanical parameters of bricks with PET added, so that they can be used safely in the construction of houses. To this end, a systematic review of 20 scientific articles from different countries was carried out, extracted from databases such as Scielo, ScienceDirect, among others. In addition, 2 international construction standards were revised. With this search criteria, parameters of compressive strength, absorption, density, thermal insulation and durability were found. Finally, we conclude that the observations on the mechanical and physical characteristics of eco-bricks based on polymeric compounds meet the minimum value required by construction regulations.

Keywords: Brick; ecological; plastic; mechanical parameters; physical parameters

1. Introducción

El desarrollo tecnológico ha permitido la creación de materiales cómodos y económicos, siendo el plástico el más usado, convirtiéndose en un material dependiente para el ser humano; a través del tiempo y por la mala disposición final de estos residuos plásticos, se ha estado generando problemas de contaminación a escala global, por su lento proceso de descomposición en un ambiente natural (Téllez, 2012).

Gran número de países en vías de desarrollo, sufren con la inadecuada disposición de estos residuos plásticos, debido a la falta de abastecimiento de rellenos sanitarios, centros de reciclaje, valorización o inclusive por ser un país con insuficientes recursos económicos para implementar sistemas de tratamiento de recuperación y transformación del desecho plástico (Carballo, 2008).

Actualmente en el Perú, el balance de consumo por envases de plástico anuales comprende de alrededor de 947 mil toneladas de diferentes tipos de material plástico, de los cuales el 56% se disponen en un relleno sanitario y el 43.7% en un botadero; solo el 0,3% de estos materiales plásticos son recuperados por las municipalidades (Ministerio del Ambiente, 2016; 2018). En consecuencia, el Ministerio del Ambiente en el años 2018 promulgó la Ley 30884, en favor de establecer un marco regulatorio sobre el plástico de un solo uso, otros plásticos no reutilizables y los recipientes o envases descartables de poliestireno expandido en el territorio nacional, y posteriormente el Decreto Supremo N° 006-2019-MINAM con el objetivo de establecer los mecanismos para evaluar la reducción progresiva de estos materiales plásticos.

La línea de este trabajo de revisión se basa en el eje temático N° 2 de La Agenda de Investigación Ambiental al 2021, donde se busca tratar temas de investigación basadas en la evaluación de prácticas y sistemas de reciclaje de residuos sólidos fomentando la necesidad de crear nuevas estrategias que permitan reciclar estos materiales inorgánicos y a la vez satisfacer las necesidades personales mediante proyectos innovadores (Ministerio del Ambiente, 2013).

Con el propósito de reducir progresivamente los residuos plásticos se están dando a conocer propuestas eco amigables de solución a través de múltiples aplicaciones de reutilización y reciclaje del plástico; dentro de estas grandes investigaciones se encuentra la creación de ladrillos de concreto con el adicional de plástico PET (Tereftalato de Polietileno) en hojuelas que se integran en la etapa de mezclado (Rahimi et al., 2017). Las botellas de plástico PET tienen la característica de tener una baja densidad, esto hace que la elaboración de ladrillos con agregado plástico sea más livianos, pero a la misma vez tengan la resistencia requerida para la construcción de viviendas (Waroonkun et al., 2017).

El sector de construcción y vivienda de cada país cuenta con normativas ya establecidas para el diseño y estudio de los parámetros físicos y mecánicos de los ladrillos convencionales, los cuales contienen en común los siguientes parámetros: alta resistencia, tenacidad, permeabilidad, tenacidad, absorción de agua, peso específico, aislamiento térmico (Okeola & Sijuade, 2016; Safinia & Alkalbani, 2016).

Sin embargo, en el Perú no existen normativas para evaluar los parámetros físicos y mecánicos de la elaboración de ladrillos con agregado plástico. Por ello, el objetivo de este artículo es hacer una revisión de las publicaciones actuales sobre los valores más aceptables que tiene los parámetros físicos y mecánicos de los ladrillos con agregado PET en contraste con normativas internacionales de ladrillos convencionales, para su uso de forma segura en la edificación de viviendas creando en cierta medida materiales de construcción ecológicos.

2. *Parámetros Físicos y Mecánicos de los adoquines:*

La solución práctica para evitar un nivel mayor de contaminación y de salvaguardar a las poblaciones de bajos recursos económicos, proviene de la reutilización o reciclado de un elemento básico como las botellas de plástico, aplicadas en el sector de edificación de viviendas (Rahimi & García, 2017). Muchas de las opciones vienen desde la creación de eco ladrillos, basados solo en el desarrollo de paredes con botellas de plástico sujetas adecuadamente, hasta la creación de nuevos materiales para edificación o decoración; a través de, la homogeneización de componentes reciclados con otros elementos como el cemento o arcilla (Coronel & Lituma, 2015).

Los ladrillos son piezas importantes para la construcción de casas, edificios, muros, y todo objeto de construcción en beneficio para las personas, dentro de este tipo de objetos se encuentran los ladrillos ecológicos a base de plástico triturado (Alberto Riofrío Kossoukha, 2014).

Las propiedades químicas y físicas de los ladrillos comunes (arena, cemento y agregado grueso) y su proceso de elaboración deben cumplir con ciertos parámetros establecidos por las Leyes y Normas de Construcción de cada país. Estos parámetros, han sido el principal motivo para seguir investigando en la elaboración de los ladrillos ecológicos, logrando establecer la mejora de las propiedades de ingeniería de adoquines (Constantin, Shitote, Abiero Gary, & Ronoh, 2019).

La creación de unidades de albañilería o mampostería en el Perú, se encuentra basados en las normas técnicas peruanas de estructuras, el cual está integrado en las Normas del

Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). En la norma E.070, las Normas NTP 399.613 y 399.604, se encuentran los parámetros a medirse para la elaboración de ladrillos o bloques adecuados para la construcción de viviendas.

Principalmente en el Perú, este tipo de elementos constructivo es usado para construcciones livianas; por lo cual tiene que cumplir con los parámetros establecidos por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y son los siguientes: Resistencia a la compresión, absorción, permeabilidad, densidad, aislamiento térmico y durabilidad.

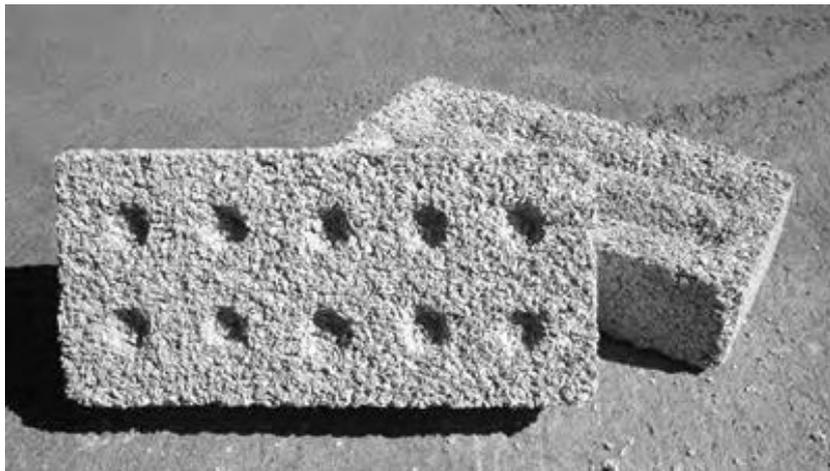


Gráfico 1. Ecoladrillo en base plástico PET. Fuente: Gaggino, R (2008)

2.1. Investigaciones sobre Ladrillos con Agregado PET (Tereftalato de polietileno) a nivel mundial:

La recopilación de información se tomó de las bases de datos Google Académico, ELSEVIER y Science Direct. Los artículos de investigación provienen de diferentes países y con diferentes metodologías (Tabla 1).

Tabla 1.

Resumen de las investigaciones de ladrillos con agregado PET

País	Título	Autor/es	Metodología	Resultados
India	Estudio de ladrillos de plástico hechos a partir de residuos plásticos	Bhushaiah et al.,(2019)	Este estudio realiza la comparación de características físicas y mecánicas de 5 bloques de ladrillos mezclados con arena y residuos plásticos en estado líquido.	Obtuvieron una resistencia a la compresión del ladrillo de arena más plástico de 5,6 N / mm ² a la carga de compresión de 96 KN. Mientras que en parámetro de absorción del agua fue de 0%.

Malasia	La utilización de PET triturado como reemplazo agregado para bloques de concreto entrelazados	Mokhtar et al., (2018)	Se utilizaron botellas de plástico como el tereftalato de polietileno (PET) como componente parcial en esta fabricación; como material de concreto se usó una proporción de 1: 2: 4 (cemento: arena: agregado). Se realizó un proceso de endurecimiento y curado durante 7 días de cubos y cubos de concreto normal los cuales se sustituyeron por PET al 5%, 10%, 15%, posteriormente se realizaron pruebas de resistencia y densidad.	El valor de la resistencia a la compresión en cubos normales (0% PET) fue de 38,7 MPa con una densidad de 2350 kg / m ³ , mientras que la resistencia a la compresión del cubo de hormigón con 5% de PET fue de 21,5 MPa con una densidad de 2240 kg / m ³ . A continuación, el cubo de hormigón en la mezcla 10% PET y 15% tuvo una resistencia a la compresión de 12,7 Mpa y 5,2 Mpa con densidades de 2050 kg / m ³ y 1790 kg / m ³ .
India	Utilización de residuos plásticos en ladrillos de arena de fundición	Manjarekar et al., (2017)	Se realiza un estudio detallado del material y sus propiedades. Luego se realizan los moldes para sus respectivas pruebas físico y mecánicas. Finalmente se los compara con los ladrillos convencionales.	La resistencia a la compresión del ladrillo 2 es de 9,53 N / mm ² , con un peso de ladrillo 3.311 kg y el ladrillo 3 tuvo una resistencia a la compresión de 7,12 N / mm ² , con su peso inferior a 3,067 kg. En tanto la absorción fue menor en comparación a un ladrillo convencional.
Panamá	Diseño y prueba experimental de bloques ecológicos a base de materiales orgánicos e inorgánicos	Pérez et al. (2017)	Se establecieron dos diseños experimentales para la fabricación de los bloques con agregado pet evaluando sus proporciones, materiales, y peso de los mismos, para luego llevar esos diseños a la realidad y fabricar 3 especímenes por cada diseño experimental; posteriormente se realizó pruebas de resistencia basadas en la Norma Técnica Panameña DGNTI COPANIT 163-2001.	Como resultado del primer diseño experimental, se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de la muestra de los 3 especímenes igual a 4575 lb/plg ² , y del segundo diseño experimental se obtuvo una resistencia a la compresión promedio para la muestra de 3 especímenes igual a 8705 lb/plg ² .
China	Rendimiento de hormigón basado en plástico reciclado	Liu, F. et al., (2015)	Este estudio examinó las propiedades mecánicas estáticas y dinámicas de las mezclas de hormigón que incluían partículas de plástico como un reemplazo para el agregado fino en 5%, 10%, 15% y 20% de contenido plástico.	La resistencia a la compresión del cilindro y el módulo elástico del hormigón con plástico reciclado (RPC) disminuyeron con el aumento del contenido de plástico, aproximadamente 3% a 47%, respectivamente, para RPC con 20% de contenido de plástico.
Bolivia	Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de	Flores et al., (2014)	Primero se trituró el plástico. Luego en la elaboración de las mezclas de cemento más plástico se emplearon una granulometría para la arena y otra para las partículas plásticas con un módulo	Los ladrillos con agregado de escamas PET obtuvieron 1142 kg/m ³ . En la resistencia a la compresión se obtuvo 4 Mpa. Su porcentaje de absorción fue de 11.5%.

	viviendas ecológicas		de finura de 4,25 para el caso de ladrillos. Posteriormente se agregó agua con aditivos químicos a la mezcla y por último se trasladó a los moldes metálicos.	
Argentina	New constructive technology with recycled plastic.	Gaggino (2008)	La investigación sobre las características físicas y mecánicas de ladrillos con agregados plásticos se realizó con sus diferentes tipos: polietileno de tereftalato (PET), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno biorientado (BOPP) y cloruro de polivinilo (PVC).	Tras las pruebas de resistencia a la compresión para ladrillos con agregado PET se obtuvo 2.00 M pa. En cuanto a la absorción de agua fue de 19.10% y con una permeabilidad de 0,0176 g/h m kPa.

Fuente: Elaboración propia

2.2. Discusiones de las Revisiones:

2.2.1. Resistencia a la Compresión:

Es la capacidad de resistencia del material ante la presencia de fuerzas que tratan de romperlos, de este modo se define si es de buena calidad y libre de riesgo a desintegrarse; para definir que la unidad no es la adecuada se observa la existencia de grietas o fallas, y numéricamente estos ladrillos no deberán tener menor a 75% de sólidos pero sí deberán tener una relación de altura a espesor no menor de 1:1 y no más de 2:1 (NTP 399.604, 2002).

Según la Cámara Panameña para la Construcción y empresas dedicadas a la elaboración de bloques, mencionan que en el proceso de manufactura del ladrillos, cada fabricante establece su modelo y consigo los tipos y cantidades de materiales que utilizarán, por consiguiente, en el proceso de diseño no existe una norma estándar que establezcan las proporciones de los materiales. Con referencia al tiempo de curado de los bloques de concreto, debe ser de 28 días, tiempo permitido, para que los bloques tengan una resistencia del 99% (Pérez et al., 2017).

Liu, F. et al., (2015) elaboraron ladrillos con agregado plástico de diferentes tamaños, sustituyendo a 5, 10, 15, y 20% con contenido plástico. Resultó que el rendimiento de resistencia al impacto disminuyeron con el aumento de contenido plástico aproximadamente en un 38% para las muestras con 20% de plástico, el ladrillo con agregado PET obtiene un valor entre 28 a 41 MPa (Liu, F. et al., 2015). Esto resulta superior a la del hormigón normal tipo IV porque el ladrillo convencional tiene un valor de 12,7 MPa (Norma E.070, 2006). En otro análisis realizado por Pérez et al. (2017) se diseñaron y evaluaron las resistencia de dos tipos (A y B) de ladrillos con contenido plástico a base de materiales orgánicos e inorgánicos, donde la proporción de material plástico (gránulos) fue de 4% en A y 5% en B, con un tiempo de curado de 20 días, los resultados de este parámetro mecánico se muestran en la tabla 2, obteniendo una

resistencia menor de 26.43 Mpa a una mayor de 66 Mpa, dichos resultados declaran que tales proporciones de plástico no afectan la resistencia del ladrillos normado por la Norma Técnica Peruana 399.604; cabe mencionar que dichos materiales de construcción tuvieron un tiempo de curado menor que los ladrillos convencionales (28 días).

Tabla 2. Resultados de resistencia a la compresión de 3 bloques ecológicos diseñados.

Especímenes	Componentes del Bloque Ecológico (%)						Resistencia a la compresion (Mpa)
	Cemento	Gravilla	Agua	Elementos Orgánicos	Elementos Inorgánicos		
					Tetra Pak	Pet	
1A	9	62	10	10	5	4	66.00 MPa
2A	9	62	10	10	5	4	54.39 MPa
3A	9	62	10	10	5	4	59.64 MPa
4B	12	47	12	18	6	5	35.5 MPa
5B	12	47	12	18	6	5	32.68 MPa
6B	12	47	12	18	6	5	26.43 MPa

Fuente: (Pérez et al.,2017)

Mokhtar et al., (2018) utilizaron botellas de tereftalato de polietileno (PET) en % y de forma parcial para la elaboración de ladrillos de concreto entrelazados con el objetivo de medir su resistencia; estos cubos de concretos tuvieron una proporción de 0% ,5%, 10% y 15 % de agregado PET y un valor de resistencia descendente visualizado en el Gráfico 2, disminuyendo la resistencia a la compresión del concreto debido a la aparición de panales y por la mala relación de agua-cemento en el momento de curado del bloque, para evitar dichos problemas los autores recomiendan una mayor relación agua-cemento, evitando la aparición de panales.

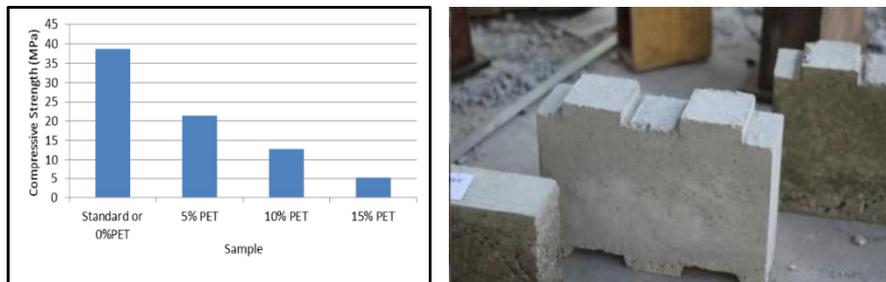


Gráfico 2: Resistencia a la Compresión de los bloques de hormigón entrelazados con agregado PET (Mokhtar et al.,2018)

Saikia y Brito., (2013) mencionan en las propiedades de resistencia, cuando trabajas con hormigón que contiene agregado PET son siempre más bajas que los agregados sin pet debido a dos factores: la fuerza de unión entre los agregados plásticos y la pasta de cemento, y la naturaleza hidrófoba del plástico evitando la hidratación del cemento.

López & Rojas, D. (2019) recomiendan que durante la incorporación de las partículas de plástico a la mezcla cementera, esto se haga en seco, ayudando a la homogeneidad de dicha mezcla y durante los procesos de hidratación es importante el movimiento vibratorio de la mezcla para eliminar los vacíos creados por el aire en el proceso de mezclado. Estos simples consejos permitirán obtener un ladrillo mucho más sólido y con mayor resistencia a la compresión.

2.2.2. *Absorción de Agua:*

Otra característica importante al evaluar un adoquín ecológico es el nivel de absorción que tiene, este parámetro permite determinar la calidad de la unidad, evitando las rajaduras. Según la Norma E.070 (2006), la absorción de los ladrillos de arcilla y sílico calcáreas no deberán ser mayores a 22%, para los bloques de concreto clase IV deberán tener una absorción no mayor que 12%. Así mismo, otro estudio elaborado por Bhushaiah et al., 2019, Study of Plastic Bricks Made From Waste Plastic, advierte que estos tipos de ladrillos no deberían absorber agua más del 12% de su peso. En sus resultados se logra determinar que a medida se incrementa el porcentaje plástico menor será su porcentaje de absorción. Finalmente en su estudio se determinó que el promedio de absorción de los 5 bloques fue de 0%, lo que nos lleva a confirmar que los ladrillos son aptos (Bhushaiah et al., 2019).

Manjarekar et al., (2017) desarrollaron 3 criterios para elaborar sus ladrillos con los siguientes porcentajes de arena: 60%, 40% y 30%. Luego se le incorporaron residuos plásticos triturados en un solo porcentaje de 37% y con ceniza volantes; posterior a la preparación y elaboración de los ladrillos se evaluaron las propiedades de estos en base a su resistencia, absorción de agua y eflorescencia. Manjarekar et al., (2017) identifica que la prueba de absorción de agua en los tres tipos de ladrillos mostraron un excelente rendimiento con respecto a la implementación del residuo plástico. Los ladrillos de buena calidad no absorberán más de 20% de agua (Tabla 3).

Tabla 3: Resultados de las pruebas de compresión y absorción de agua para cada muestra.

*Muestra	Prueba de Resistencia		Prueba de absorción de agua
	Peso (Kg)	Resistencia a la compresión (N/mm ²)	% de agua absorbida
Ladrillo 1	3.888	8.73	0.10
Ladrillo 2	3.311	9.53	0.13
Ladrillo 3	3.067	7.12	0.21

Fuente: Manjarekar, (2017)

Finalmente Jové (2018) menciona que es necesario evaluar el contenido de humedad en el bloque o ladrillo ecológico, porque brinda información de la cantidad de agua que se encuentra dentro de un cuerpo respecto a su peso en seco, siendo que el resultado se expresa en porcentaje y denota que la variabilidad de la misma puede afectar la durabilidad del mampuesto.

2.2.3. Permeabilidad

Con ella se puede determinar si un adoquín es permeable o impermeable. Gonzales (2016) menciona que es la capacidad que tiene un cuerpo para ser atravesado por ciertos fluidos como el agua sin cambiar su estructura interna. Así mismo, Gonzales (2016) refiere que existen dos tipos de permeabilidad: la primera es con respecto al agua y la segunda con respecto al vapor de agua.

Gaggino (2008) menciona a través de su estudio de investigación para la elaboración de ladrillos y placas prefabricadas con plástico reciclado, que la permeabilidad al vapor de agua en elementos constructivos con PET reciclado fue de 0,0176 g/mhkPa, siendo un valor similar al de otros materiales tradicionales evaluados en el mismo estudio.

2.2.4. Peso Específicos o Densidad:

Como lo menciona Arrieta y Peñaherrera (2001) el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que el valor elevado corresponde a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles. En el caso de los ladrillos ecológicos su peso específico varía de acuerdo al porcentaje de plástico granulado agregado, ya que el plástico es un

material muy compacto y liviano, lo que permite entender que a mayor cantidad de gránulos de plástico, se incorporara menor cantidad de agregado grueso natural a la mezcla, obteniendo un producto de menor peso y con igual calidad (Arrieta y Peñaherrera, 2001) .

Flores et al., (2014) realizaron estudios de investigación con respecto al uso de plásticos PET como mezcla para la elaboración de viviendas. En su proceso ellos trituraron los plásticos e incorporaron cemento. Teniendo como resultado ladrillos modificados con una densidad de 1142 kg/m³. Así mismo, Okeola & Sijuade (2016) obtuvieron una densidad entre 2473 a 2532 Kg/m³. A medida que van pasando los días de curado la densidad del ladrillo con %PFRC (fibra plástica) va en aumento, lo que indicaría que las muestras se están hidratando adecuadamente (Tabla 4) (Okeola & Sijuade, 2016).

Tabla 4. Densidad de ladrillos con fibra plástica (PFRC)

Densidad		
% PFRC	Días de curado	Kg/m ³
0%	7	2473
0%	14	2495
0%	28	2525
0.1%	7	2479
0.1%	14	2493
0.1%	28	2528
0.2%	7	2485
0.2%	14	2498
0.2%	28	2530
0.3%	7	2490
0.3%	14	2514
0.3%	28	2532

*Los porcentajes representan la cantidad involucrada del PET en la composición del adoquín. Fuente: Okeola & Sijuade, (2016).

De ese mismo modo, Gaggino (2009) a través de su estudio de ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción, demuestra que los

ladrillos con porcentaje PET mantienen su peso específico por debajo de los bloques convencionales.

2.2.5. Aislamiento Térmico:

Años de instigación sobre los componentes del plástico reconocieron que su interacción como partículas, molidos o picados se adhieren con mucha facilidad a mezclas cementeras, favoreciendo a la industria de construcción en el ahorro de energía y de materiales áridos como la arena y grava. Cabe mencionar que los ladrillos que contengan dichos materiales reciclables son buenos aislantes térmicos y acústicos, siendo mucho mejor que los adoquines tradicionales (Rojas Trejos & Lopez Pareja, 2019).

Salah, W., et al. (2020) nos menciona que la conductividad térmica para el PET post consumo es de $0,19 \text{ W / m }^\circ \text{C}$ y el valor de la literatura para el PET virgen es de $0,0375 \text{ W / m }^\circ \text{C}$, ambos a 25°C ; basado en los resultados obtenidos del experimento, la conductividad térmica está dentro del rango de $0.15\text{--}0.3 \text{ W / m K}$; por lo que, en comparación con otros materiales de desecho como el caucho desmenuzado en paneles de concreto, tiene una conductividad térmica en el rango de $0.303\text{--}0.476 \text{ W / m K}$, que es más alto que los resultados obtenidos de PET. Por ello, es correcto mencionar que la conductividad térmica va disminuyendo a medida que aumenta el porcentaje de PET

Alaloul et al., (2020) menciona en su estudio que los resultados de la prueba de conductividad térmica general fueron satisfactorios, ya que se encuentra dentro de un rango de 0.15 a 0.2 W / mK . La baja conductividad térmica significa un buen material aislante térmico. Se obtuvo la conductividad térmica más baja de 0.153 W / mK para PET.

La variedad de aplicaciones dadas por él plásticos están vinculados con sus propiedades físicas y químicas como su baja densidad, fácil procesamiento, buenas propiedades mecánicas, buena resistencia química, capacidad de aislamiento térmico y eléctrico y su bajo costo en comparación con otros materiales que cuentan con características similares. Por sus características, actualmente estos residuos están siendo investigados para su futura utilidad como material de construcción (ladrillos); desarrollando una eficaz reducción de los residuos plásticos y bajo consumo de materiales de tierra como arcilla usados para la fabricación de ladrillos, ayudando a mantener el equilibrio ecológico (Thirugnanasambantham et al., 2017).

En Turquía se realizaron estudios donde se utilizaron residuos PET triturados (cuadrados, tiras e irregulares) como agregados para la formación de ladrillos, con el solo

propósito de probar su capacidad de aislamiento térmico y mejorar el de las piezas de hormigón ordinario. Se pudo observar que entre un 10.27% y 18.16% hubo una mejora del parámetro de estudios (capacidad de aislamiento térmico), siendo una alternativa en estudio para su uso en lugares con temperaturas bajas. (Yesilada., et al 2009)

2.2.6 Durabilidad

El parámetro de durabilidad se enfoca en la capacidad que tiene un ladrillo a cambios naturales como el de la temperatura y la humedad, y se evalúa a través del proceso continuo de congelamiento, humectación y secado del mismo (Moya et al., 2019). Del mismo modo, Lakshmi & Nagan (2011) menciona que la durabilidad del ecoladrillo deberá resistir la acción de la intemperie, el ataque químico, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro; sin embargo, otro factor importante para mantener la durabilidad es determinar el nivel de permeabilidad ya que esta controla la tasa de entrada de humedad, que puede contener químicos agresivos y dañar la estructura del ladrillo.

Estudios desarrollados en la India donde desarrollaron ladrillos de hormigón utilizando agregado pet en una proporción de 0.5%, 1%, 2%, 4% y 6% reemplazándolo por el agregado fino tradicional (arena de río), agregado grueso de 20mm - 60% y cemento. Posterior al mezclado las muestras se fundieron y desmoldan después de 24 horas y se curaron en un tanque de curado durante un período de 7 a 28 días según ley. En las pruebas de resistencia realizadas se pudo observar que mientras más aumentaba la proporción de agregado pet en la mezcla, menos resistencia tenía dicho ladrillo, también se pudo observar un aumento gradual de la resistencia a la compresión a medida que aumentaba la edad de curado volviendo al ladrillo mucho más resistente y duradero. (Chowdhury., 2013). El suministro continuo de agua durante un período más largo condujo a un aumento en la formación de enlaces hidrato de silicato de calcio y cristales de hidróxido de calcio, aumentando así la dureza y, por lo tanto, la resistencia del ladrillo. (Alleyne., 2019)

Finalmente, el estudio de los parámetros de permeabilidad con respecto a la durabilidad del hormigón plástico es aceptable, aunque ligeramente inferior a la del hormigón convencional; así mismo, la durabilidad va ligada al parámetro de resistencia del hormigón de plástico y de acuerdo con este estudio se ha concluido que se pueden incorporar partículas de plástico al 12% como reemplazo de agregados sin tener efectos perjudiciales a largo plazo (Lakshmi & Nagan, 2011). Así mismo, Amir & Yusof (2018) concuerdan que la durabilidad de los ladrillos de plástico depende de la cantidad de plástico incorporado en la mezcla y que con la formulación adecuada, los residuos plásticos pueden ser un gran sustituto de las materias primas extraídas de origen natural.

3. Conclusiones:

Si bien el porcentaje de plástico reciclado se puede incrementar transformando los residuos plásticos en morteros y productos de hormigón adecuados para la vivienda y la construcción, cada país elabora normas de construcción estableciendo parámetros que estos ladrillos deben cumplir. Entre los parámetros a cumplir como la resistencia a la compresión de ladrillos con agregado PET incrementaron su nivel de resistencia en contraste con el de los ladrillos convencionales; sin embargo, esto depende de un porcentaje adecuado (5% -15%) ya que en mayor porcentaje el nivel de resistencia disminuye. Al igual que los otros parámetros se destaca que los ecoladrillos con agregados pet mantienen una baja absorción del agua debido a la naturaleza hidrófoba del plástico. En cuanto al parámetro de durabilidad, dependen en gran parte de la permeabilidad y resistencia a la compresión. Mediante el estudio de las revisiones se concluye que en la mayoría de los parámetros mecánicos y físicos cumplen con los niveles mínimos requeridos para la edificación de viviendas seguras y ecológicas.

4. Recomendaciones:

- Para un correcto procedimiento es necesario controlar la actividad de molido (menor tamaño de partículas, mayor adherencia al cemento) y al momento de incorporar las partículas de plástico en la mezcla cementera; sin olvidar que las proporciones de este producto varían de acuerdo a los demás materiales (cemento, arena, grava) que incorporan en la mezcla para la elaboración de los ladrillos. Es parte fundamental para obtener mejores niveles de aceptación en cuanto a los parámetros obligatorios por la norma E.070.
- Las revisiones especifican que una mezcla con agregados de plástico tamizados y con un periodo de curado de 28 días tiene como consecuencia un ladrillos mucho más resistente y duradero.
- Es de importancia mencionar que se necesitan realizar más investigaciones en este campo, para hallar la proporción adecuada de plástico (molido) en la mezcla cementera y dar una buena calidad de vivienda ecológica.

Referencias

- Alaloul, W. S., John, V. O., & Musarat, M. A. (2020). Mechanical and Thermal Properties of Interlocking Bricks Utilizing Wasted Polyethylene Terephthalate. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 14(1).
<https://doi.org/10.1186/s40069-020-00399-9>
- Amir, S. N., & Yusof, N. Z. (2018). Plastic in Brick Application. *Trends in Civil Engineering and its Architecture*, 3(1), 4.

- Bhushaiah, R., Mohammad, S., & Rao, S. (2019). Study of Plastic Bricks Made From Waste Plastic. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(4), 6.
- Carballo, E. T. (2008). Futuro de los plásticos. Universidad Autónoma de México, pág 69.
- Constantin, J. T. Y., Shitote, S. M., Abiero Gariy, Z. C., & Ronoh, E. K. (2019). Influence of coarse aggregate on the physical and mechanical performance of paving blocks made using waste plastic. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 12(6), 912–916.
- Coronel, E., & Lituma, M. (2015). Universidad de cuenca. Universidad de Cuenca.
- Flores, V., Rojas, J., Torres, R., Vallejos, R., Flores, P., & Flores, M. (2014). Mezclas de cemento y agregados de plástico para la construcción de viviendas ecológicas. *Ciencias Tecnológicas y Agrarias, Handbooks*, 10.
- Gaggino, R. (2008). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. *Revista INVI*, 23(63). Harari, Yuval Noah (2017). *Sapiens, de animales a dioses: breve historia de la humanidad*. Lima: Debate. INGENIERIA NAVAL. (2016). 10 objetos fabricados con plásticos recogidos de los océanos . *Revista Ingeniería Naval*, 1–11.
- Gonzales, K. (2016). “Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con la incorporación de pet en diferentes porcentajes”. Universidad Nacional de Piura.
- K. Alleyne (2019). Waste Management: Solid, Liquid, Hazardous, Bio-medical and Electronic Waste PLAS-CRETE: Manufacture of Construction Blocks with shredded PET and HDPE. Department of Chemistry, University of Guyana; Vol. 53 (1689-1699).
- Kramer, K., (2012). *User Experience in the Age of Sustainability*. El plano de un practicante. ELSEVIER
- Pérez, J. P. (septiembre de 2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*, 64(5), 6-9.
- Lakshmi, R., & Nagan, S. (2011). Investigations on durability characteristics of E-Plastic waste incorporated concrete. *ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*, 12(6), 15. Google Academic.
- Liu, F. et al., (2015). Performance of recycled plastic-based concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000989](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000989)

López Pareja, Juan David; Rojas Trejos, Daniel (2019). Planteamiento y Propuesta de Ladrillos Ecopet a base de PET. Universidad Católica de Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Uri: <http://hdl.handle.net/10839/2545>

Manjarekar, P. A. S. (2017). Utilization of Plastic Waste in Foundry Sand Bricks. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, V(IV), 977–982. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2017.4178>

Manjarekar, A. S., Gulpatil, R. D., Patil, V. P., Nikal, R. S., & Jeur, C. M. (2017, April). Utilization of Plastic Waste in Foundry Sand Bricks. *IJRASET*, 5(IV), 8. Google Académico. <http://doi.org/10.22214/ijraset.2017.4178>

MINAM. (2013). Agenda de Investigación Ambiental 2013 al 2021 (Walter Wust Ediciones S.A.C. ed.). Ministerio del Ambiente del Perú. http://www.minam.gob.pe/investigacion/wp-content/uploads/sites/19/2013/10/Agenda-de-Investigaci%C3%B3n-Ambiental_Interiores.pdf

MINAM (2018). El plástico representa el 10% de todos los residuos que generamos en el Perú. <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/minam-el-plastico-representa-el-10-de-todos-los-residuos-que-generamos-en-el-peru/>

MINAM (30 de diciembre de 2019). Impuesto al consumo de las bolsas de plástico será de S/ 0.20 durante el 2020. Plataforma digital única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/76338-impuesto-al-consumo-de-las-bolsas-de-plastico-sera-de-s-0-20-durante-el-20>

Mokhtar, M., Kaamin, M., Sahat, S., Hamid, N. B (2018). E3S Web of Conferences. The Utilisation of Shredded PET as Aggregate Replacement for Interlocking Concrete Block, Vol. 34 (pag. 1-7). Google Scholar. doi: 10.1051/e3sconf/20183401006

Molina, S., Vizcaino, A., & Ramírez, F. (2015). Estudio de las características físico - mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacias (meta). *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.00420>

Moya, J. C., Cevallos, E., & Endara, E. (2019, septiembre). La construcción sostenible a partir del empleo de ladrillos tipo PET. *Revista INGENIO*, 2(1), 9.

Norma E.070 (2006). Diario Oficial el Peruano, Lima, Perú, 23 mayo del 2006.

Okeola, A. A., & Sijuade, T. I. (2016). Hysteresis Behaviour of Mass Concrete Mixed with Plastic Fibre under Compression. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 10(7), 6.

Osula, D. O. A. (1996). A comparative evaluation of cement and lime modification of laterite. *Engineering Geology*, 42(1), 71–81. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(95\)00067-4](https://doi.org/10.1016/0013-7952(95)00067-4)

Pérez, H., Pimentel, K., De Meza, O., & Hernández Korner, M. (2017). *Design and experimental test to ecological bricks based on organic and inorganic materials ; Diseño y prueba experimental de bloques ecológicos a base de materiales orgánicos e inorgánicos. 3*. Retrieved from <http://rida2.utp.ac.pa/handle/123456789/2194>

Rahimi, A. R., & Garcíá, J. M. (2017). Chemical recycling of waste plastics for new materials production. *Nature Reviews Chemistry*, 1, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41570-017-0046>

Safinia, S., & Alkalbani, A. (2016). Use of Recycled Plastic Water Bottles in Concrete Blocks. *Procedia Engineering*, 164(June), 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.612>

5(4), 16.

S.Chowdhury, A.Maniar & O. Suganya. Polyethylene Terephthalate (PET) Waste as Building Solution. *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS)*; Vol. 1 (2320-4087).

Saikia, Nabajyoti & De Brito, Jorge (2013). Waste polyethylene terephthalate as an aggregate in concrete. *Materials Research*; Vol. 16 (pag. 341-350). DOI: 10.1590/S1516-14392013005000017

Thirugnanasambantham, N., Kumar, P. T., Sujithra, R., Selvaraman, R., & Bharathi, P. (2017). Manufacturing And Testing Of Plastic Sand Bricks. *International Journal of Science and Engineering Research (IJOSER)*, Y.Bulent, I.Yusuf & T. Paki (2009). Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. *Construction and Building Materials*; Vol. 23 (1878-1882). DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2008.09.014

Waroonkun, T., Puangpinyo, T., & Tongtuam, Y. (2017, November 29). The Development of a Concrete Block Containing PET Plastic Bottle Flakes. *Journal of Sustainable Development*, Vol. 10(No. 6), 14. Google Scholar. doi:10.5539/jsd.v10n6p186