

Diseño y Fabricación de Ladrillo Reutilizando Materiales a Base de PET*

Design and Construction of Bricks Reusing PET-based Materials

Artículo de Investigación Científica - Fecha de Recepción: 23 de junio de 2014 - Fecha de Aceptación: 11 de noviembre de 2014

Alejandro David Martínez Amariz

Doctor en Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Universidad de Santander/Grupo de Nuevas Tecnologías. Bucaramanga (Colombia). alejandrom@udes.edu.co

Mónica Liliana Cote Jiménez

Ingeniera Industrial. Universidad de Santander/Grupo de Nuevas Tecnologías. Bucaramanga (Colombia). monik_cote@hotmail.com

Para citar este artículo / To reference this article:

A. Martínez and M. Cote, "Diseño y Fabricación de Ladrillo Reutilizando Materiales a Base de PET," *INGE CUC*, vol. 10, no. 2, pp. 76–80, 2014.

Resumen. Los procesos industriales suelen ser los grandes contaminantes del planeta, ya sea por emisión de gases que se produce durante el proceso o por los desechos que estos generan. Uno de las industrias más contaminantes es la de producción de ladrillo, la cual usa mucho carbón y materiales como llantas para generar la energía. En este trabajo se diseña y fabrica un ladrillo a base de cemento y escamas de PET (tereftalato de polietilene); para tal fin se estudiaron varias composiciones con diferentes pruebas de resistencia y compresión usando una máquina de tracción PCE-MTS500. Los resultados muestran un producto resistente comparable con los comerciales según la norma NTC 673; la muestra óptima presenta un esfuerzo de compresión de 5600 kgf en comparación con los ladrillos comerciales, que presentan un esfuerzo máximo de 4480 kgf. Se analizaron los costos comparativos con los del mercado actual brindando un excelente costo beneficio.

Palabras clave: producción limpia, reciclaje, ladrillos ecológicos, PET, procesos productivos

Abstract: Industrial processes are usually the major contaminants of the planet either by gas emissions produced during their processes or by the waste they generate. One of the most polluting industries is brick production since it uses a lot of coal and supplies such as tires to generate energy. In this paper, the design and construction of a cement and PET-flake (Polietilene terephthalate) brick is expounded. For this purpose, various compositions were studied through different resistance and compression tests using a PCE-MTS500 tensile testing machine. The results show a resistant product comparable to the commercial one -according to the Colombian Technical Standard NTC 673, regarding compression resistance tests for normal concrete cylinders-; this standard sample presented an optimal compressive stress of 5600 kgf, whereas commercial bricks have a maximum stress of only 4480 kgf. Comparative costs were also analyzed to those of the current market, offering an excellent cost benefit option as well.

Keywords: Clean production, Recycling, Green bricks, PET, Productive process.

* Artículo de Investigación Científica derivado del proyecto de investigación titulado "Diseño y fabricación de ecoladrillos" de la Universidad de Santander (Colombia). Fecha de Inicio: 1° de Mayo de 2012.

I. INTRODUCCIÓN

La población mundial está creciendo a un ritmo acelerado, y con ello la contaminación ambiental; en este punto el ser humano está preocupado por darles un mejor uso a estos residuos por medio del proceso del reciclaje, el cual consiste en aplicarle un proceso al material para que así este pueda ser reutilizado y disminuir el uso de los recursos naturales [1].

Uno de los grandes contaminantes es el uso de plásticos, el cual es utilizado en muchos de los procesos y actividades de la vida cotidiana; especialmente la industria alimenticia ha sido la preferida por este tipo de material para su conservación y almacenamiento. Este material se conoce como PET (tereftalato de polietileno), que ofrece grandes ventajas además de los bajos costos de fabricación [2].

Entre sus propiedades más importantes podemos destacar las siguientes: actúa como barrera para los gases, como el CO₂, humedad y el O₂, es transparente y cristalino, aunque admite algunos colorantes, irrompible liviano, impermeable, resistente a esfuerzos permanentes y al desgaste, ya que presenta alta rigidez y dureza, totalmente reciclable.

No obstante, el tiempo que tarda en descomponerse es no menor a cien años, lo cual genera un alto nivel de contaminación, que se podría reducir dándole un segundo uso a estos residuos sólidos. *Colombia se contamina* con más de 1.500 millones de botellas de PET al año, que llegan a ríos, playas y campos, o en el mejor de los casos, a rellenos sanitarios [3].

Igualmente, otro de los factores que tiene un impacto ambiental negativo en su proceso de fabricación es el ladrillo de obra, que es uno de los materiales más usados a diario en toda construcción de casas, edificios, locales, bodegas, entre otros, y que tiene gran demanda en todos los países.

Para este proceso, que es altamente contaminante, es necesario una fase en la que se tiene que hornear el producto para que adquiera las propiedades adecuadas de resistencia, compresión y dureza; para esta etapa es prescindible que los hornos utilicen como combustible productos como leña, carbón, llantas, madera, acumuladores, plásticos o textiles, entre otros, que al ser incinerados emiten una gran cantidad de gases a la atmósfera, como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas sólidas [4].

Estos gases han sido por largo tiempo los causantes de problemas de salud pública y contaminación ambiental, como: lluvia ácida, olores asfixiantes, afectación de mucosidades y pulmones, gases inflamables en el medio ambiente, destrucción de mucosas intestinales, calentamiento de la biosfera, humos tóxicos.

En este trabajo se muestra la utilización de las escamas de PET junto con el cemento como insumos principales en la fabricación de un ladrillo comercial. Este material es una nueva alternativa para producir ladrillos de construcción que podrían com-

petir con los ladrillos usados normalmente en el sector de la construcción. Las ventajas radican en que es un producto con un impacto ambiental menor, que genera un proceso de producción limpia, ya que se eliminaría la etapa de cocido en el mismo.

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Inicialmente se recolectan y clasifican las botellas PET en diferentes lugares de la ciudad. Luego se introduce el material a la máquina trituradora, para así tener como producto final en forma de escamas.

Se fabrica el molde en madera con las dimensiones ya establecidas por los fabricantes, que son 23X10X4 (cm); estos moldes son los usados para los ladrillos que se usan en los muros portantes. Ya teniendo el molde listo y el PET triturado se procede a mezclar los materiales: cemento gris, una porción de agua, en las siguientes proporciones que se muestran en la tabla I.

TABLA I. PORCENTAJE DE MEZCLAS CON SU RESPECTIVA IDENTIFICACIÓN POR MUESTRA

Cemento (% en proporción en peso)	PET (% en proporción en peso)	Muestra	No de muestras
90	10	M1	5
80	20	M2	5
70	30	M3	5
60	40	M4	5
50	50	M5	5
40	60	M6	5
30	70	M7	5
20	80	M8	5
10	90	M9	5

Fuente: Autores.

Se ubica el molde en el espacio que se halla destinado para el secado del ladrillo; ya estando en este espacio se introduce la mezcla para darle la forma cuadrada y luego despegar el molde para dejarlos al sol durante un día para que se sequen. Luego de finalizado el día de secado se ponen los ladrillos en un tanque, que debe estar lleno de agua, donde pasarán 7 días aproximadamente en un proceso que se le hace al cemento, el cual se llama "curado", que brinda al ladrillo las características de cohesión.

Pasados los siete días del proceso anterior, se sacan los ladrillos del agua para pasarlos a un lugar fresco, donde están bajo techo y a temperatura ambiente; son almacenados uno encima de otro y no se pueden mover durante 28 días, lapso en el que tomarán las propiedades mecánicas; este tiempo de curado es usado internacionalmente [5].

Ya terminado el proceso del ladrillo se tomaron tres unidades de cada muestra con diferentes proporciones de material para llevarlas al laboratorio

de pruebas de la Universidad de Santander (UDES) y realizarles los ensayos de resistencia y compresión a cada una de las muestras tomadas.

Teniendo los resultados de todas las pruebas realizadas a las muestras se realizó un análisis para determinar cuál muestra tiene las mejores propiedades mecánicas y menor costo.

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Inicialmente las muestras M1 y M2 no se tuvieron en cuenta debido al poco porcentaje de PET usado, lo cual se reflejó en una disminución costos beneficios. De la misma forma se descartó la muestra M8 y M9 debido a la poca consistencia del material, además del uso excesivo de PET, lo cual dificulta el prensado del ladrillo por su excesivo volumen.

En la fabricación de los ladrillos es indispensable tomar en cuenta y calcular las densidades del cemento y del PET, debido a que se tomó como referencia un vaso dosificador de 5 onzas en ambos materiales; por esta razón tendremos la misma proporción en cada material mas no la misma masa, ya que estos materiales tienen densidades diferentes y es necesario conocer el dato exacto del peso para sacar costos de los ladrillos fabricados.

Teniendo en cuenta que $d = m/v$, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla II.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES USADOS EN LA FABRICACIÓN DE LOS LADRILLOS

	Densidad (kg/m ³)	Masa (kg)	Volumen (m ³)
Agua	1000	0.19	0.00019
PET	263.16	0.05	0.00019
Cemento	1052.63	0.2	0.00019

Fuente: Autores.

Los datos con respecto a la masa del PET, cemento y agua son obtenidos al pesar el vaso dosificador con cada uno de los materiales, los cuales proveen los anteriores resultados.

En la tabla III se muestran las diferentes composiciones en masa, además del agua usada en las muestras restantes.

TABLA III. MUESTRA DE LAS DIFERENTES COMPOSICIONES DE CADA MUESTRA

Muestra	Cemento (Onza)	Cemento (gr)	PET (Onza)	PET (gr)	Agua (ml)
M3	35	1400	15	150	986
M4	30	1200	20	200	431
M5	25	1000	25	250	370
M6	20	800	30	300	308
M7	15	600	35	350	247

Fuente: Autores.

Ya finalizado el proceso de fabricación de todas las mezclas propuestas, el siguiente paso fue dejarlas al sol durante un día; pero como las muestras se terminaron de fabricar a las 2 de la tarde, se tomó como medida de precaución dejarlas un día y medio expuestas al sol.

Esta etapa es de gran importancia, debido a que ayuda a reducir el nivel de contaminación ambiental que produce el proceso de fabricación convencional de los ladrillos de arcilla o de hormigón, porque anula el paso por un horno de secado, que es uno de los grandes contaminantes de este proceso.

Luego de tener los ladrillos al sol durante el tiempo estimado se procede a coger cada una de las muestras y llevarlas a un lugar donde tengan suficiente espacio para estar sumergidos en agua durante 8 días sin moverlos y estando a la sombra.

El almacenamiento es el último paso del proceso de fabricación del ladrillo, en el cual se sacan todas las muestras del agua y se llevan a un lugar donde permanezcan a temperatura ambiente y a la sombra, cubiertos de cualquier humedad que pueda entrar.

En esta última etapa es en la que el ladrillo adquiere al pasar de los días las propiedades mecánicas; esta etapa dura 28 días [6].

A. Pruebas de Compresión

Las pruebas a cada una de las muestras de ladrillos se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de Santander.

Para estas pruebas se utilizó una máquina de tracción (PCE-MTS500), la cual fornece datos sobre la compresión que resiste el ladrillo fabricado y su límite de quiebre. Se hicieron tres pruebas para cada ladrillo, con una buena dispersión de los mismos. Los datos son resumidos en la tabla IV. El método usado consiste en aplicar una carga axial de compresión a los moldes a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. Este tipo de ensayo se realizó siguiendo la norma técnica colombiana NTC 673 (Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto)

TABLA IV. PRUEBAS DE COMPRESIÓN DE LOS LADRILLOS A BASE DE CEMENTO Y PET

	M3 (kgf)	M4 (kgf)	M5 (kgf)	M6 (kgf)	M7 (kgf)
Prueba I	9300	8700	4610	2390	365
Prueba II	9580	8480	4980	2060	420
Prueba III	9660	8100	5600	1100	450

Fuente: Autores.

Para realizar una comparación con ladrillos comerciales n° 15 y ladrillo macizo se realizaron las mismas pruebas con los resultados que se presentan en la tabla V.

TABLA V. PRUEBAS DE COMPRESIÓN DE LOS LADRILLOS COMERCIALES

	Ladrillo No 15 (kgf)	Ladrillo macizo (kgf)
Prueba I	4480	2000
Prueba II	4040	2080
Prueba III	3890	1900

Fuente: Autores.

Se observa que los ladrillos que contienen más cemento tiene una mayor resistencia; pero realizando la comparación de los resultados del ladrillo macizo y el N° 15 y los resultados de la muestra M5, en la que el ladrillo se compone de 50 % cemento y 50 % PET, este último tiene una mayor resistencia que los ladrillos comúnmente utilizados en la construcción. Resultados similares se obtuvieron cuando se adicionó fibras de PET para reforzar el concreto en cuanto a la técnica de ruptura por tracción [7]. En la figura 1 se muestran las diferentes fotos del prototipo M5, que presenta las mejores condiciones en cuanto a las propiedades de resistencia a la compresión

Esta propiedad del aumento de la resistencia obedece al incremento del límite plástico del PET en el material sumado a la forma en escamas, lo cual aumenta las propiedades mecánicas del ladrillo; esto está de acuerdo con resultados similares obtenidos en [8]. El peso aproximado de cada ladrillo de PET y comparándolos entre sí con los ladrillos de arcilla a los cuales se les realizó la prueba, se observa que la mezcla con mayor contenido de PET es la ideal en cuanto a peso, pero su resistencia es baja. De la misma manera, se sugiere la M5, con un peso de 900 gr, y en comparación con el ladrillo de arcilla, que aproximadamente pesa 1450 gr, se resalta la diferencia de 600 gr, que sería una buena alternativa para la construcción. Estos valores se presentan en la tabla VI.

TABLA VI. PESO DE LOS LADRILLOS A BASE DE CEMENTO Y PET

	M3 (gr)	M4 (gr)	M5 (gr)	M6 (gr)	M7 (gr)
Peso	1165	1032	900	767	634

Fuente: Autores.

B. Análisis del costo del ladrillo

Debido a que la mezcla n° 5 demuestra tener las mejores características se contemplan los costos en los cuales se incurriría en la fabricación de esta muestra; para realizar este cálculo es necesario asumir el costo del PET al valor que actualmente se encuentra en el mercado el kg se vende en \$1500.

Así que el valor unitario aproximadamente será de \$566, por lo cual se propone que esta mezcla sea la adecuada para remplazar el material utilizado actualmente en la construcción. Los valores calculados se presentan en la tabla VII.

TABLA VII. COSTO DEL LADRILLO A BASE DE CEMENTO Y PET

	M3 (\$)	M4 (\$)	M5 (\$)	M6 (\$)	M7 (\$)
PET	106.60	142.10	177.63	213.15	248.68
CEMENTO	371.36	318.31	265.26	212.21	159.15
AGUA	172.42	147.78	123.15	98.52	73.89
VALOR UNIDAD	650.38	608.19	566.04	523.88	481.72

Fuente: Autores.

Con lo anterior se puede proponer el diseño del proceso de fabricación de ladrillos a base de material PET para la mezcla elegida como se muestra en la siguiente fig. 2.

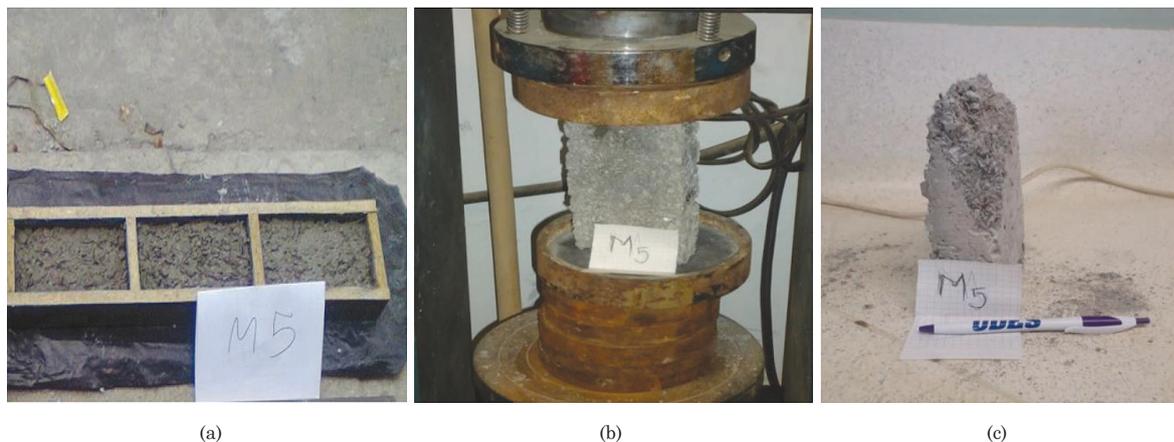


Fig. 1. (a) Muestra terminada en el molde, (b) Muestra en la máquina de Compresión, (c) Punto de compresión máxima
Fuente: Autores.

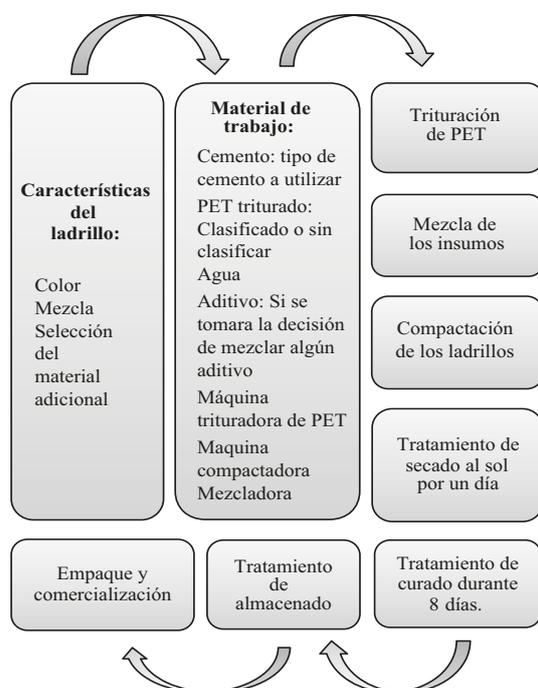


Fig. 2. Diseño esquemático del proceso de fabricación del ladrillo a base de PET
Fuente: Autores.

IV. CONCLUSIONES

- Se diseña y se construye un producto que cuenta con excelentes propiedades mecánicas, de fácil fabricación y que puede llegar a competir con el ladrillo que actualmente se utiliza en la construcción.
- Se da un mejor uso a los residuos que generan este tipo de envases triturándolos e incluyéndolos en un nuevo proceso productivo, lo cual mitiga un poco el impacto ambiental.

- Se diseña un proceso de fabricación para tener como resultado los ladrillos a base de PET, en el que se tiene en cuenta desde el proceso de recolección de la materia prima hasta el producto terminado; para dicho diseño se puso en práctica los conocimientos adquiridos durante toda la carrera de Ingeniería Industrial.
- Las escamas de PET demuestran ser un material con propiedades requeridas en el área de construcción; se deben realizar los estudios necesarios para soportar dicha teoría y poder incluir el reciclaje del PET en otras áreas de esta industria.
- Se presenta el prototipo de la mezcla elegida del ladrillo; igualmente, no se descarta el uso de las otras mezclas para diferentes fines según sean sus requerimientos.

REFERENCIAS

- [1] X. E. Castells, *Reciclaje de residuos industriales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2000, pp. 1-21.
- [2] M. R. Gómez Antón, *Contención del calentamiento global: la aportación de los plásticos*. Ediciones Universidad de Salamanca, 2014, pp. 1-15.
- [3] E. Uribe Botero y E. Sánchez Triana, *Contaminación industrial en Colombia*, 1994.
- [4] Instituto de Seguros Sociales. *La extracción de la arcilla, la fabricación de ladrillos y vitrificados y la salud de los trabajadores*. Colombia: Editorial ISS, Fundación Ecológica Bacata, 1998, pp.1-27.
- [5] F. Fraternali, S. Spadea, and V. P. Berardi, "Effects of recycled PET fibres on the mechanical properties and seawater curing of Portland cement-based concretes", *Constr. Build. Mater.*, vol. 61, pp. 293-302, June 2014.
- [6] M. Cabo Laguna, "Ladrillo Ecológico Como Material Sostenible para la Construcción", Universidad Pública de Navarra, 2011.
- [7] D. Foti, "Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers", *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, n° 4, pp. 1906-1915, April 2011.
- [8] D. Foti, "Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete", *Compos. Struct.*, vol. 96, pp. 396-404, Feb. 2013.