

Fabricación de ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas

Manufacture of bricks based on PET polymers and metal chips

José Luis Maure¹, María Candanedo¹, Jeancarlos Madrid¹, Marco Bolobosky¹, Nacari Marín^{2*}

¹Licenciatura en Ingeniería Mecánica – Campus Víctor Levi Sasso – Universidad Tecnológica de Panamá, ²Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado

Resumen En este artículo se plantea la fabricación de ladrillos de plástico fundido con virutas producto del mecanizado como un elemento constructivo. En este trabajo el material utilizado es el polietileno de tereftalato, mejor conocido como PET. Los ladrillos fabricados permitieron comprobar y obtener una buena resistencia mecánica a la compresión, en comparación con ladrillos convencionales. Por otra parte, ayudan a reducir la contaminación ambiental. Es una propuesta autosustentable debido a que se utilizan como materia prima materiales reciclados (PET y virutas metálicas), promoviendo el uso de los recursos disponibles, en lugar de quemarlos o desecharlos.

Palabras claves PET, resistencia mecánica, ladrillos, virutas metálicas.

Abstract This article considers the manufacture of bricks of plastic cast with shavings product of machining as constructive element. In this work the material used is polyethylene terephthalate, better known as PET. The manufactured bricks allowed to check and obtain a good mechanical resistance to the compression, compared to conventional bricks. On the other hand, help to reduce environmental pollution. (PET and metal chips), promoting the use of available resources instead of burning or discarding them.

Keywords PET, mechanic resistance, bricks, metal chips.

* Corresponding author: nacari.marin@utp.ac.pa

1. Introducción

El polietileno de tereftalato, mejor conocido como PET, es un material polimérico ampliamente utilizado en la fabricación de diferentes productos, sin embargo, representa un problema de contaminación ambiental. La mayor parte de los residuos arrojados a los distintos basureros del país no es biodegradable. Entre estos se encuentra el PET, principalmente utilizados en las botellas de bebidas. El PET posee un tiempo de degradación mayor en comparación a los demás componentes. Es este problema el que nos da la idea de emplear este material en conjunto con algunos otros, en el ámbito constructivo, como una alternativa más económica y sustentable.

Al mencionar que es sustentable nos basamos en que toda la materia prima puede ser reciclada, y el reciclaje es una de las mejores alternativas en estos casos.

La recolección y separación del resto de desechos de este tipo de material, permitirá el empleo de distintos tipos de procedimientos o métodos de reciclaje, ya sea mecánico, químico o energético.

Al emplear o fabricar un nuevo material se debe considerar si este es apropiado o no, por lo que la fabricación

de este tipo de ladrillos de plástico estará basada en la caracterización física/mecánica del mismo y si no representa riesgo al estar expuesto a los diferentes cambios climáticos; si es altamente resistente principalmente a compresión. Por otra parte, la implementación de estos bloques también requiere tomar en cuenta las diferentes técnicas de manufactura y fabricación de los mismos.

Algunos antecedentes que sirven de referencia son la utilización de fibras de carbono y plásticos reforzados [1], la fabricación de bloques con compuestos orgánicos e inorgánicos, los ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados a base de una mezcla de cemento, arena y plástico [2], la deformación y contracciones en las piezas de plásticos [3], el diseño y fabricación de ladrillos reutilizando materiales a base de PET. En base a cada uno de estos antecedentes que muestran resultados de resistencia en torno a 4800 kgf, para los ladrillos de PET con mezcla de cemento, resaltando que esto dependerá del área que posee el ladrillo. Estos resultados se utilizan como un indicio para la justificación y utilización del PET en su totalidad sin adicionarle una mezcla cemento como se ha hecho con anterioridad. Estas combinaciones de

material compuesto se caracterizan por tener muy alta resistencia y elevada rigidez [1].

Otros estudios realizados también demuestran que para una combinación de plástico PET y plásticos de alta densidad PEHD, con fabricación especializada se obtenían resultados de 13495 kgf para un área de 56.5cm², se da una resistencia a compresión de 239 kgf/cm² [6].

Partiendo de estos antecedentes se tuvo una nueva iniciativa de mezclar el PET con las virutas de metal para la realización y comprobación de su resistencia; constituyéndose en un nuevo material compuesto. Empleado en elementos constructivo

Como parte de los objetivos contemplados en este proyecto se encuentra evitar la contaminación a raíz de la acumulación de las botellas plásticas. Al pensar en una posible solución y tomando en cuenta los antecedentes mencionados se desarrolló un procedimiento de fabricación de los ladrillos y se realizaron ensayos de compresión, con el objetivo de compararlo con los ladrillos convencionales.

2. Página descripción y características de los polímeros PET

Este material es un termoplástico, que en la definición del libro Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de William Smith[1] “que a los termoplásticos es necesario calentarlos para dales forma y después enfriarlo, de modo que adquieran y conserven la forma que se les dio”. Otra característica es que “pueden ser moldeados varias veces sin que haya un cambio significativo en sus propiedades” [2]. Es importante resaltar que la materia prima utilizada en este proyecto (PET) es considerada como un polímero termoplástico, el que puede ser clasificado de acuerdo a su punto de solidificación, ya sea en este caso cristalino o no cristalino, con lo que se podrán determinar algunas características estructurales para la solidificación del mismo.

Si se toma en consideración el tipo de enfriamiento de este material, ya sea a bajas temperaturas (consideradas termoplásticos no cristalinos) o altas temperaturas (termoplásticos cristalinos), se puede determinar la disminución o aumento del volumen.

En los procesos de cristalización del plástico se tienen dos (2) parámetros que son críticos: la temperatura de transición (tg) y la temperatura de fusión (tm). La temperatura de transición depende del grado de cristalinidad, peso molecular promedio del polímero y la velocidad de enfriamiento del termoplástico.

Otra característica a resaltar es que “el PET requiere un proceso sumamente complicado para ser recuperado luego de ser desechado, debido a que no es posible su reutilización para nuevas botellas plásticas, debido a razones de higiene” [7].

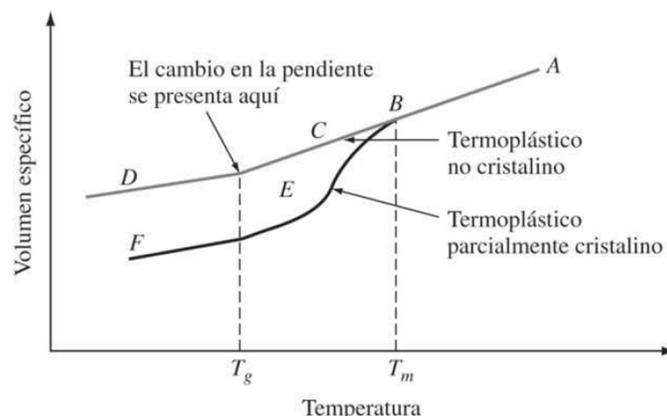


Figura 1. Comportamiento de los termoplásticos en el proceso de cristalización [2]. El polímero PET posee un tg 70°C-75°C y un tm de 250°C-265°C [10].

Luego de tener en cuenta la composición de la materia prima principal a utilizar, se considera el rol de esta junto con las virutas de metal en su desempeño como un material compuesto.

3. Metodología y materiales

3.1 Materia prima

Para la primera fase de pruebas, se utilizaron 720 g de polímero PET y 240 g de virutas metálicas producto del mecanizado, a una temperatura inicial fuera de la caldera (olla) de 126°C y una temperatura de 70 °C dentro del recipiente, a la que un material como este se funde.

Para la segunda fase, se utilizaron tres composiciones: 800 g de plástico y 100 g de virutas metálicas, 1000 g de plástico y 125 g de viruta, 800 g de plástico y 200 g de viruta. Todas las pruebas se realizaron a 126°C en la superficie de la mezcla.

3.2 Metodología

Recolección de materia prima consiste en recolectar botellas de plásticos PET y virutas metálicas para su aprovechamiento como materias prima.

Movilización y depuración de la materia prima que se va a utilizar consiste en la clasificación del material.

Fundición de materiales se basa en recortar las botellas plásticas en pequeños trozos rectangulares para disminuir el periodo de fundición. Posteriormente se prepara el proceso para fundir el material a temperatura de 70°C hasta 126°C el cual inicialmente está a una temperatura de 126°C (temperatura medida dentro del recipiente de fundición).

Combinación y moldeo de material compuesto luego de tener el material fundido se procede a vaciarlo en el molde, al que se le agregan progresivamente las virutas de metal para lograr una mejor consistencia y compactación del material. Se

deja enfriar por un día hasta que se endurezca. Este es un material que se endurece a los pocos segundos, pero se toma como opción dejarlo en el molde por un periodo más largo.

Modificación de la pieza, para tener una pieza más compacta, se cortaron las rebabas que se encontraban en los bordes de la pieza producto del moldeo (primera fase). Para las pruebas de la segunda fase se utilizó un pisón para la compactación del material, para evitar la formación de rebaba y de burbujas de aire en el interior de la pieza.

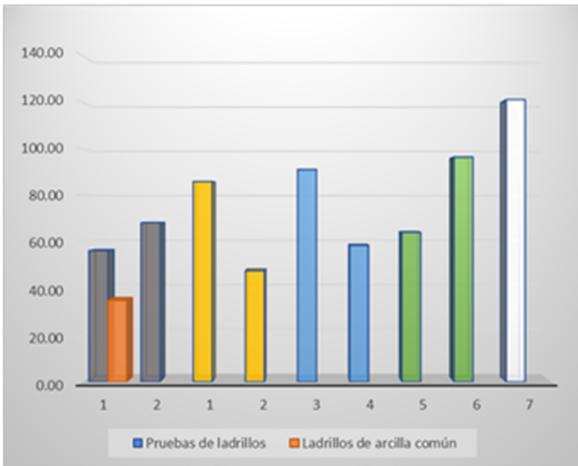
Pruebas de compresión consiste en la realización de esta prueba sobre los ladrillos de PET compuesto con virutas metálicas.

Pruebas de inducción eléctrica consiste en conectar una fuente de corriente directa de 12V a la superficie del material para probar la conductividad eléctrica del ladrillo, mediante la utilización de un multímetro. Como resultado final de la prueba realizada no se encontró ningún valor crítico de conductividad eléctrica por lo tanto se comprobó que el material posee características de aislante.

Restricciones y limitaciones se pueden mencionar la falta de un horno industrial de alta capacidad, utensilios para manejar materiales a altas temperaturas, maquinaria para las pruebas permitentes, moldes con dimensiones específicas y espacio donde trabajar cómodamente. Como limitaciones se puede mencionar la falta de referencias y material de apoyo ya que resultó ser una combinación con plástico no realizada anteriormente.

4. Resultados

- **Elaboración del primer ladrillo.** Consiste en una primera prueba, realizada de forma empírica. No se realizaron mediciones de la cantidad de plástico y de virutas de metal empleadas. Cabe destacar que las virutas utilizadas aquí eran más polvillo que virutas. Un componente adicional que se utilizó fue el aceite para no perder partes del material al momento del vaciado en el molde. Al mezclar las virutas metálicas dentro del envase donde se realizó la fundición y al momento de verter la mezcla se observó, para este caso que el tiempo de enfriamiento y cristalización del mismo fue alrededor de 45 minutos aproximadamente.
- **Elaboración del segundo ladrillo.** Para esta prueba se tomaron las medidas necesarias tanto para el plástico como para las virutas metálicas antes de realizar la mezcla. También se midió la temperatura a la que se encontraba el envase donde se calentó el plástico, para tener un control al momento de hacer las comparaciones con las características teóricas obtenidas. En esta segunda prueba el tiempo de cristalización fue menor que el de la primera prueba pues este tomó la forma del molde.
- **Elaboración de ladrillos a varias composiciones (segunda fase).** A partir de los resultados obtenidos durante la fabricación y pruebas de los ladrillos 1# y 2# se presentaron propuestas para mejorar y cuantificar las proporciones de virutas con respecto a la cantidad de plástico PET agregado y también diferentes maneras de verter el material fundido a los moldes. En estos ensayos se contó con un pisón para mejorar la compactación de los ladrillos de tal manera que se redujo la cantidad de burbujas de aire en el interior de los mismos. Se procuró utilizar virutas más refinadas y de menor tamaño para reducir el aire en el interior. Se intentó controlar la temperatura para que el plástico fundido no se quemara. El enfriamiento de los ladrillos se dio de manera natural y por temple (enfriado en agua).
- **Resultados de las pruebas de compresión.** Cada una de las pruebas para las dos fases fueron realizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Tecnológica de Panamá. En estas pruebas se usó una máquina especializada para ensayos de compresión, que consiste en aplicar una carga axial de compresión a cada ladrillo, con la que se obtuvieron los datos de la fuerza que soportan los ladrillos.
En los resultados mostrados en la gráfica 1 se observa la resistencia a la compresión para cada una de las fases realizadas. La diferencia de color mostrada en la gráfica 1 y la tabla 1 refleja el tipo composición de cada uno de los ladrillos. Es importante mencionar que a mayor área menor resistencia, como se presenta en la comparación realizada con los ladrillos de arcilla con respecto a los ladrillos de PET fundido y compuesto.
En la segunda fase, se pudo obtener mejoras en las propiedades mecánicas relacionadas a la fuerza de compresión, gracias a la composición, método de vertido y el medio de enfriamiento. El molde jugó un papel importante en la compactación y evitó un cambio brusco de temperatura.
Los resultados obtenidos en pruebas de compresión para los ladrillos de arcilla fueron obtenidos de estudio realizado previamente por “César García” [4]. En cuanto al área de estos ladrillos con respecto a los ladrillos de PET compuestos por virutas metálicas no poseen las mismas dimensiones.
Las comparaciones entre ambas pruebas se observan detalladamente a continuación:



Grafica 1. Resistencia a la compresión.

Tabla 1. Materiales empleados

Soclas	Materiales	Peso(g)	Area(mm²)	Fuerza(N)	Resistencia a compresión (kg/cm²)	
1	PET, virutas metálicas y scelite quemado	388	6825.34	36.6	36.20	Primera fase
	2 metálicas	367	6028.38	40.4	68.20	
1	800 g de PET 100 g de Virutas metálicas	294	3060	23.8	85.90	Segunda fase
	2 metálicas	236	3277.5	15.3	47.60	
3	800 g de PET 200 g de Virutas metálicas	378	3726	33.3	91.10	
	4 metálicas	337	3691	21.2	38.30	
5	1000 g de PET 125 g de Virutas metálicas	266	3115	19.6	64.10	
	6 metálicas	398	4270	40.4	96.40	
7	Materiales restante	252	3832.7	39.6	121.00	

4.1 Imágenes



Figura 2. Ladrillo (segunda fase).



Figura 3. Fundición del plástico.



Figura 4. Máquina para la prueba de compresión.



Figura 5. Molde y pisón empleado.

Ecuación de resistencia a la compresión.

$$f_{cc} = W/A \quad (1)$$

5. Pruebas futuras

Debido a los ensayos realizados y los resultados obtenidos, se pretende continuar con las pruebas para caracterizar mejor aún más los ladrillos.

Se espera realizar la fabricación desde un laboratorio especializado, para así graduar la temperatura en un horno especial, además de que espera evaluar el impacto ambiental que se provoca cuando se funde el plástico.

Se tendrá en cuenta la trituración de las botellas de PET para mejorar el tiempo de fundido.

Otra idea de prueba consistiría en emplear un sistema de presión que comprima el plástico fundido dentro del molde con el armazón de virutas de metal.

Al verter el plástico fundido se pretende calentar nuevamente el molde para obtener una mejor cristalización. Se intentará realizar otra prueba a los ladrillos (absorción, y compresión).

Se espera poder concretar más pruebas, en las que se midan los efectos de la aplicación de tratamientos térmicos a los ladrillos, como por el ejemplo, el temple.

Se requiere realizar una mayor cantidad de ensayos para validar los resultados preliminares obtenidos.

Otro punto que se tomará en consideración es seguir las normativas de fabricación de ladrillos de acuerdo a la norma UNE 67019-86/2R [8] siendo una versión europea. Otra norma importante es la ASTM C67 y C56 de la Gaceta Oficial de Panamá [9].

6. Discusión

Durante la fabricación de los ladrillos de PET con virutas de metal se emplearon distintos métodos artesanales, considerando el tiempo de solidificación, la proporción de los materiales y composición de los mismos, así como el efecto del tiempo y medio de enfriamiento empleado.

En la prueba de compresión del ladrillo #2 se logra la fractura del material a 40.4KN, aplicada al material de forma axial en toda la superficie.

Este mismo ensayo fue aplicado para el ladrillo #1 en el que se dio una fractura a 36.6 KN. La diferencia entre estas dos cargas, a pesar que la diferencia de áreas es mínimas, que se debe a la composición que tenía el ladrillo #1 con respecto al ladrillo #2.

Con base en los estudios y experimentaciones realizadas, se puede determinar que el PET en conjunto con las virutas metálicas en su totalidad presenta características constructivas con la que se observan las propiedades mecánicas a compresión del mismo.

Se requiere realizar más ensayos para validar los resultados preliminares obtenidos como parte de este estudio.

7. Conclusiones

Con la realización de este proyecto se pudo establecer un procedimiento para la fabricación de ladrillos a base de PET con virutas metálicas, así como comprobar que la resistencia de este material, presenta un buen comportamiento si es sometido a cargas en compresión. A raíz de esto se cumplen en cierta medida los objetivos propuestos inicialmente y dejan un precedente para la ampliación del estudio mediante la realización de una mayor cantidad de ensayos. Esto permitirá establecer o plantear la idea de sustituir ciertos materiales, utilizados convencionalmente en el ámbito constructivo o estructural, por otros que brinden un igual o mejor desempeño.

Dado a que la fabricación de los ladrillos se realizó de manera artesanal, se considera en el futuro continuar con el estudio para mejorar los procesos planteados. Se espera de igual forma, concretar estudios en los que se observen otras propiedades físicas, mecánicas y térmicas. Así mismo, mejorar el control de la temperatura, el proceso de vertido, y el proceso de enfriamiento. Otra de las consideraciones importantes para la mejora del vertido y enfriamiento es tomar en cuenta el comportamiento de los termoplásticos, pues es en este momento en el que si el molde es calentado previamente se tendrá una cristalización más lenta y por ende mejor amarre del material.

Al momento de la realización de las pruebas el área transversal del material juega un papel fundamental, ya que si se tiene menor área se tendrá una mayor resistencia a la compresión. Es por ello que se debe tener las medidas adecuadas al momento de la fabricación del molde, para establecer un proceso de fabricación de los ladrillos, con el cual se pueda mostrar un prototipo del ladrillo fabricado mucho más uniforme.

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestros agradecimientos al Doctor Gonzalo Córdoba, por su ayuda y asesoría en las pruebas de compresión, realizadas en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones de la Universidad Tecnológica de Panamá (CEI), a la Doctora Nacarí Marín por su asesoría y al Doctor Orlando Aguilar por sus observaciones en cuanto a la contaminación que producen los PET.

Un agradecimiento especial al personal del Laboratorio del CEI, por el apoyo y asesoría técnica en la realización de las pruebas. Este proyecto forma parte del Programa UTP Emprende.

REFERENCIAS

- [1] William F. Smith, 4ta Edición, “Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales”. McGraw-Hill,2006
- [2] Alejandro Martínez, Mónica Cote, “Diseño y Fabricación de Ladrillo reutilizando Materiales a Base de PET”.INGE CUC, vol.10,no.2,pp.76-80,2014
- [3] Juan de Juanes Márquez Sevillano, “Contracciones y deformaciones en las piezas de Plástico/ Diseño y transformación de Plástico”.
- [4] Cesar García, María García, Martha Vaca., “Estudio realizado de resistencia mecánica de ladrillos preparados con arcilla”, 15 de abril del 2013
- [5] Diego Fabricio Aguirre Villacis, “Plástico Reciclado como elemento Constructor de la vivienda”, Universidad de Cuenca, Facultad de arquitectura y urbanismo
- [6] Schirley Molina, Adriana Vizcaíno, Freddy Ramírez, “Estudio de las características Físico-Mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado”. Universidad La Salle, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá D.C., 2007
- [7] Rosana Gaggiano, “Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción”, Vol.23,pp.137-163,agosto,2008
- [8] Consejería de medio ambiente y ordenación del Territorio, “Compendio de Normativas de Ladrillos y Bloques”. Octubre 2004
- [9] Gaceta oficial de Panamá 28 de agosto del 2006
- [10] Universidad Centroamericana del Salvador, “Deformación y falla de los materiales polímeros”.