

---

# Definición de metodología para la fabricación de material compuesto a base de polietileno de tereftalato y virutas metálicas

**Vergara, Delkis**

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá  
Panamá, Panamá  
delkis.vergara@utp.ac.pa

**Ruiz-Huerta, Leopoldo**

Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva y Digital, Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad de México, México  
leopoldo.ruiz@icat.unam.mx

**Marín Calvo, Nacarí**

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá  
Los Santos, Panamá  
nacari.marin@utp.ac.pa

## Abstract

This article presents the development of a composite material based on Terephthalate Polyethylene (PET) with steel and aluminum metal chips, from the process used for the manufacture of samples to the realization of computed tomography and tension test. Although the results of resistance of the material have been lower compared to those presented by a virgin PET material, this study has allowed to define the conditions of the manufacturing process.

**Keywords:** Composite material, polymer, PET, CT scan, tensile strength.

## Resumen

En este artículo se presenta el desarrollo de un material compuesto a base de Polietileno de Tereftalato (PET) y virutas metálicas de acero y aluminio, desde el proceso empleado para la fabricación de placas (probetas), hasta la realización de tomografía computarizada y ensayos de tensión. A pesar de que los resultados de resistencia del material han sido menores respecto a los que presenta un material PET virgen, este estudio ha permitido definir las condiciones del proceso de fabricación de las placas.

**Palabras claves:** Material Compuesto, polímero, PET, tomografía computarizada, ensayo de tensión.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se cuentan con reportes sobre las grandes cantidades de plástico que se desechan, lo que sugiere la necesidad de plantear alternativas de reutilización en aplicaciones perdurables [1]. El estudio y desarrollo de materiales compuestos a base de materiales considerados como desecho se presenta como una alternativa, aunque en general también representa un reto por la diferencia que presentan los materiales en lo que a propiedades se refiere, así como los procesos de fabricación involucrados [3].

El Polietileno de Tereftalato, mejor conocido como PET, es un material termoplástico aromático descubierto en 1929. El PET es considerado uno de los polímeros ingenieriles más importantes, por sus aplicaciones, particularmente su uso como contenedores de líquidos consumibles. Cabe destacar que más del 50% de las aplicaciones del PET componen productos de un solo uso [4][5][6]. El PET se recicla comúnmente mediante procesos mecánicos, que involucra la clasificación, limpieza, triturado y la definición de una temperatura de fusión adecuada. El PET, una vez que inicia el proceso de reciclaje mecánico (triturado) se le denomina rPET (Recycling PET) [7]. Cabe destacar que el PET solo puede reciclarse de 2 a 3 veces, debido a que sus propiedades mecánicas se deterioran por las altas temperaturas involucradas en el proceso. El PET empleado como refuerzo en morteros ha demostrado mejoras en la resistencia a la compresión del compuesto.

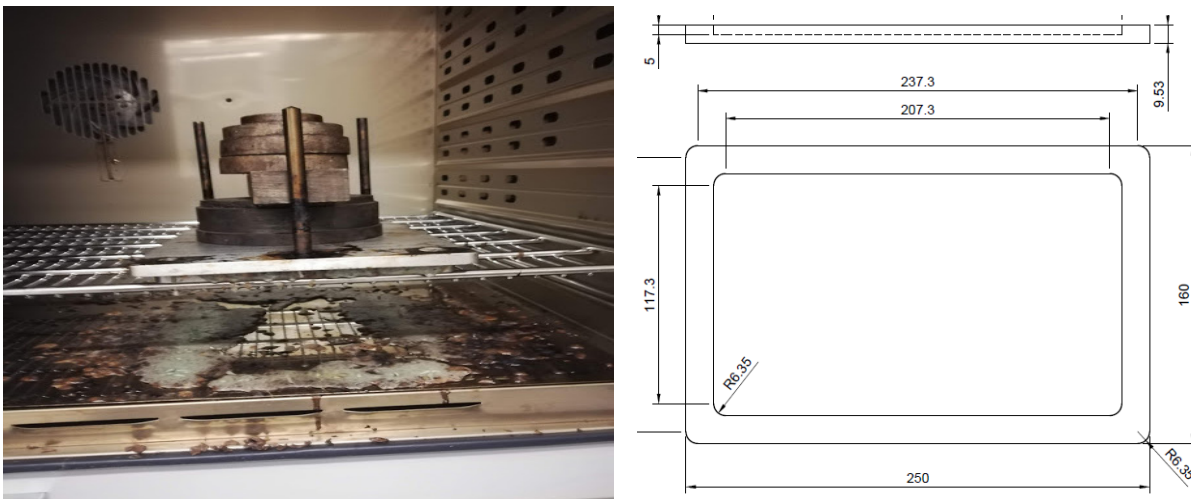
Por otra parte, las virutas metálicas que se obtienen a partir de procesos de mecanizado, se consideran desechos industriales que muy difícilmente son aprovechados en otros usos. Este trabajo presenta la definición de una metodología para la fabricación de un material compuesto a base de rPET y virutas metálicas, desde la fabricación hasta la realización de tomografía computarizada y ensayos de tensión, considerando el uso de materiales que normalmente son considerados como desecho.

## 2. MÉTODO

### A. Fabricación del material compuesto

Para la fabricación del material compuesto se definió el proceso de moldeo por compresión y la temperatura de fusión del rPET, tomando en consideración la importancia del control de temperatura y su relación con las propiedades mecánicas del material. Se diseñó y

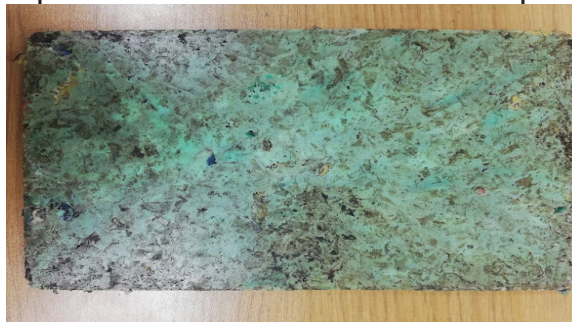
fabricó un molde en aleación de aluminio 6061 para la obtención de placas del material compuesto. El molde consiste de una base de 250 x 160 x 5 mm y una tapa 272 x 180 x 3 mm. Las dimensiones del molde se establecieron, bajo la Norma D638-02A ASTM, lo que permite obtener un espesor de hasta 7 mm de placa de material compuesto. Este espesor es requerido para el corte de probetas de ensayos de tracción. En conjunto con el molde, se emplearon barras cilíndricas rectificadas y endurecidas para asegurar el desplazamiento alineado de la tapa con respecto a la base. Se utilizaron masas de acero sobre la tapa de 8.15 kg., para generar la compactación del compuesto durante el proceso de fundición. El material a fabricar incluye los siguientes materiales de desecho: rPET, previamente triturado de forma mecánica y virutas metálicas segmentadas, procedentes de procesos de mecanizado en seco (sin refrigerante). El rPET a utilizar, es una mezcla de envases de PET de un solo uso con diferente coloración. Las virutas metálicas son segmentadas discontinuas en forma de espiral. Ambos materiales, se colocan procurando intercalar capas de hojuelas rPET y de virutas, hasta llenar el molde en porcentaje de masa. Las virutas segmentadas y de dimensiones irregulares se vierten de forma aleatoria. Con el objetivo de determinar las condiciones iniciales de fundición del compuesto, se consideró la temperatura de fusión inicial (del rPET) equivalente a 251.2 °C reportada en las referencias [8][9]. Los parámetros iniciales de tiempo de fusión equivalente a 1 hora 50 minutos, porcentaje en masa de rPET y virutas metálicas 60/40%, se variaron en función de ensayos previamente experimentados y estudios referenciados [10][11].



**Fig. 1 a) Molde con pesos y barras b) Diseño del molde y sus dimensiones (en mm)**

Se llevaron a cabo 32 ensayos, dentro de los que se ajustaron precalentamiento del horno y molde, aplicación de desmoldante, tiempo de fusión, rampa de enfriamiento, masa de rPET y masa de virutas metálicas. Con base en los resultados experimentales y las condiciones recomendadas [8][9][10][11], para el proceso de fundición de este material son: secado de

hojuelas de rPET por 6 horas a 160° C, aplicación de desmoldante (Mann Ease Release 200) tanto a la base como a la tapa del molde, precalentamiento del molde a 215°C, durante 1 hora 30 minutos, regulación de la masa de rPET 60% y virutas metálicas 40%, calentamiento del horno de 215°C a 285°C, en un tiempo de 30 minutos, fundición del compuesto a 285°C por espacio de 1 hora 50 minutos, enfriamiento desde 285°C hasta alcanzar la temperatura ambiente y extracción de la placa del molde se realiza a temperatura ambiente.



**Fig. 2** Ensayo 19, matriz polimérica fundida.

## **B. Descripción de ensayos**

El corte de las probetas se obtuvo mediante corte de chorro de agua. De cada placa se obtuvieron 5 probetas. A partir de una inspección mediante tomografía computarizada, se evaluaron las piezas obtenidas a fin de validar de forma cualitativa la morfología y composición del material compuesto. Esta técnica de inspección no-destructiva, permite establecer las condiciones estructurales internas a nivel microscópico.

El ensayo de tensión en probetas de rPET y virutas metálicas, se llevó a cabo en una máquina de ensayos SHIMADZU GCMS-QP2010 SE. La tensión ensayada en el compuesto de matriz polimérica se desarrolló en dirección uniaxial, temperatura ambiente, ajuste manual de mordazas y análisis mediante software.

## **3. RESULTADOS**

Tras realizar la fundición, se procedió a verificar la estructura interna de los ensayos 8, 10, 11, 19, 20 mediante tomografía computarizada. De las imágenes obtenidas mediante este análisis, se verificó la presencia de burbujas de aire dentro del material. La figura 3, presenta una imagen de una probeta obtenida del ensayo 20, 390 g en masa de rPET, 15 gramos de virutas de acero. El porcentaje de porosidad obtenido fue de 15%. La medida de poro de mayor tamaño en la probeta fue de aproximadamente 18 micrómetros. La porosidad reflejada, disminuye con una fundición más efectiva; a mayor compactación menor porosidad.

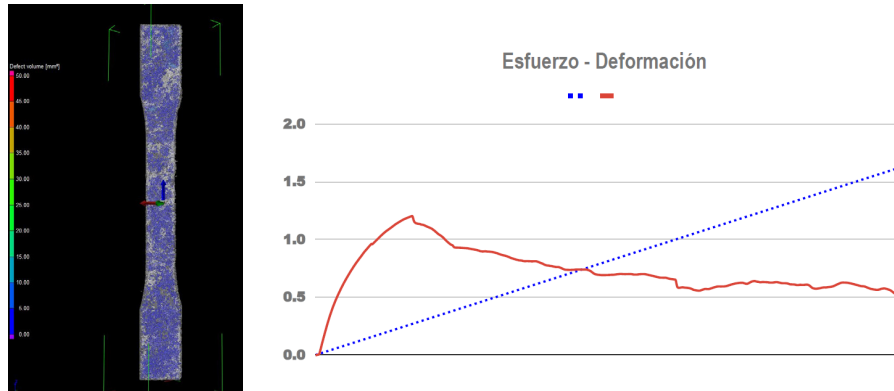


Fig. 3 a) Análisis tomográfico de probeta b) Gráfica Esfuerzo-Deformación, material compuesto de rPET y virutas metálicas.

Al realizar ensayos de tensión a las probetas de rPET y virutas metálicas se obtuvieron valores entre  $4.233 \times 10^{-3}$  y  $4.741 \times 10^{-1}$  MPa. Estos valores son bajos respecto a los presentados por otros materiales compuestos con base polimérica. En Ardekani, S. M. [12] se estudia una matriz polimérica reforzada con fibra de papel periódico, obteniéndose valores en torno a 21 y 32.5 MPa. La diferencia en valores se debe respecto al material rPET empleado (dependencia de la cantidad de veces reciclado y la temperatura, así como la degradación del rPET), al material de la fibra, la disposición en la matriz y el porcentaje de masa, por mencionar algunos. A pesar de que los resultados de resistencia del material han sido menores respecto a los que presenta un material PET virgen y las obtenidas por un material compuesto con base rPET y fibras de papel periódico, este estudio ha permitido definir las condiciones del proceso de fundición de las placas de matriz rPET y virutas metálicas. En la figura 3, se muestra la gráfica de esfuerzo-deformación obtenida a partir del ensayo de probetas de material compuesto de base rPET y virutas metálicas.

Por otra parte, se han llevado a cabo pruebas de mecanizado en el material, en donde se ha demostrado que pesar de su fragilidad, puede ser taladrado.

## 4. CONCLUSIONES

El compuesto a base de rPET y virutas metálicas se presenta como una alternativa para aprovechar materiales de un sólo uso que se desechan. El resultado de esta investigación muestra capacidad de unificación entre los dos materiales empleados, peso ligero y valores de tensión, aunque bajos, permiten verificar la necesidad de continuar con el estudio para optimizar el proceso de fundición del material compuesto.

En los ensayos se logró identificar las condiciones de fundición del material compuesto, así como la necesidad de optimizar el proceso de fabricación por hallazgo de humedad en las hojuelas de rPET y burbujas de aire atrapadas dentro de la estructura del compuesto.

Se continuarán realizando actividades relacionadas con este estudio, a fin de mejorar el tratamiento de la materia prima previo a la fundición, particularmente limpiando y controlando la humedad contenida y posteriormente actuando sobre el proceso de obtención de láminas mediante un mejor control de la presión para la compactación ejercida, así como la distribución de tamaño y proporción de viruta metálica añadida al rPET.

## Agradecimientos

Agradecimiento especial a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de Panamá, por el financiamiento aportado a la realización de este estudio. De igual forma queremos agradecer al Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva y Digital (MADiT), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, por el apoyo en la realización de estudios de caracterización mecánica de materiales compuestos base PET. Agradecemos a la Universidad Tecnológica de Panamá, en particular, a la Facultad de Ingeniería Mecánica por el apoyo brindado a esta investigación desde la Coordinación de Postgrado y del Programa de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica.

## Referencias

- [1] Sonam, C., Prasad, Y. B., Anwar, S. N., & Kumar, C. S. (2019). Mathematical modelling and analysis of plastic waste pollution and its impact on the ocean surface. *Journal of Ocean Engineering and Science*.
- [2] Grau, J., Terraza, H., Velosa, R., Milena, D., Rihm, A., & Sturzenegger, G. (2015). *Solid Waste Management in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank: Washington, DC, USA.
- [3] Demirel, B., Yara?, A., & Elçiçek, H. (2011). Crystallization behavior of PET materials.
- [4] Lepoittevin, B., & Roger, P. (2011). Poly (ethylene terephthalate). *Handbook of Engineering and Speciality Thermoplastics*, 3, 97-126.
- [5] Dasan, K. P. (2015). PET Nanocomposites: Preparation and Characterization. In *Poly (Ethylene Terephthalate) Based Blends, Composites and Nanocomposites* (pp. 99-111). William Andrew Publishing.
- [6] Kannan, G., Grieshaber, S. E., & Zhao, W. (2016). Thermoplastic polyesters. *Handbook of Thermoplastics*, 41, 319.
- [7] Elamri, A., Zdiri, K., Harzallah, O., & Lallam, A. (2017). Progress in Polyethylene Terephthalate Recycling. In *Polyethylene Terephthalate: Uses, Properties and Degradation* (pp. 155-186). Nova Science Publishers, Inc New York.
- [8] F. Awaja y D. Pavel, "Recycling of PET", *Eur. Polym. J.*, vol. 41, n.o 7, pp. 1453-1477, 2005.
- [9] Jankauskaite, V., Macijauskas, G., & Lygaitis, R. (2008). Polyethylene terephthalate waste recycling and application possibilities: a review. *Mater Sci (Medžiagotyra)*, 14(2), 119-127.
- [10] Hassan, N. N., Ismail, N. M., Ghazali, S., & Nuruzzaman, D. M. (2018, April). Thermal properties of polyethylene reinforced with recycled-poly (ethylene terephthalate) flakes. In *IOP Conference*

Series: Materials Science and Engineering (Vol. 342, p. 012094).

- [11] Gomez, W., Plata, D., Ramos, J., Morales, M., Osorio, S., Rodríguez, J., ... & Meza, E. (2014). Análisis de la degradación térmica mezclas de Poli Tereftalato de Etileno Reciclado (R-PET/PET) proveniente de botellas de bebidas carbonatadas de consumo popular en la ciudad de Cartagena. *Revista Colombiana de Materiales*, (5), 93-99.
- [12] Ardekani, S. M., Dehghani, A., Al-Maadeed, M. A., Wahit, M. U., & Hassan, A. (2014). Mechanical and thermal properties of recycled poly (ethylene terephthalate) reinforced newspaper fiber composites. *Fibers and Polymers*, 15(7), 1531-1538.

## Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.