

Evaluación de un proceso no convencional de reciclaje de PET ámbar para la obtención de placas decorativas

Evaluation of a non-conventional recycling process of amber PET to obtain decorative plates

María Clara Ortiz Cortés^{1*}
Jherson Eveiro Díaz Rosero²

¹Colombiana Ingeniera de Materiales, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: maclor27@gmail.com

²Colombiano PhD. Ingeniería, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: jhersondiaz@hotmail.com

Recibido: 04-09-2017 Aceptado: 02-05-2018

Resumen

Este trabajo estudia la obtención de placas decorativas a partir de PET reciclado, teniendo en cuenta el efecto de la temperatura y el tiempo en un tipo de procesamiento alternativo de PET reciclado en la resistencia a la flexión, optimizando estos parámetros para la elaboración de placas para el posible reemplazo de cerámicas decorativas. Para ello el PET ámbar reciclado se lavó y cortó en cuadrados de aprox. 1 cm² de largo. Posteriormente se determinó el ensayo a la flexión en una máquina universal Tinius Olsen H50KS bajo la norma ASTM D790 en placas de PET ámbar, verde y transparente obtenidas a 320°C, 330°C y 340°C en 20, 30 y 40 minutos. Así se estudiaron las propiedades térmicas de las materias primas mediante termo gravimetría y calorimetría diferencial de barrido, a una velocidad de calentamiento 10 °C/min, en aire, y un rango de temperatura de 30 °C a 500 °C. Adicionalmente se realizaron mezclas de PET Ámbar (PA) con PET transparente (PT) y PET verde (PV) en la siguiente proporción 70%PA-30%PT, 70%PA-30%PV, y 70%PA-15%PT-15%PV permitiendo mejorar las propiedades mecánicas y lograr diferentes tonalidades en la placa. Los resultados indicaron que la temperatura y el tiempo óptimos para fundir las placas son: 320°C y 40 minutos respectivamente, que permitiera alcanzar una resistencia a la flexión de 71 MPa. Bajo estas mismas condiciones de temperatura y tiempo, las mezclas que incorporan PET transparente y PET verde presentaron una disminución significativa en la resistencia a flexión. Se concluye que las placas obtenidas a partir de PET ámbar reciclado son adecuadas para uso decorativo, ya que según los ensayos mecánicos estas alcanzaron 71 MPa para el ensayo de flexión.

Palabras clave: PET ámbar; reciclaje; plástico; residuos; materiales.

Abstract

This article studies the obtaining of decorative plates from recycled PET, taking in account the effect of temperature and time in a type of alternative processing of recycled PET in the resistance to bending, optimizing these parameters for the production of plates for the possible replacement of decorative ceramics. For that purpose, the recycled amber PET was washed and cut into squares of approx. 1 cm² long. Subsequently, the bending test was determined in a Tinius Olsen H50KS

universal machine under the ASTM D790 standard in amber, green and transparent PET plates, obtained at 320°C, 330°C and 340°C in 20, 30, 40 minutes. The thermal properties of the raw materials were studied thermogravimetry and differential scanning calorimetry, at a heating rate of 10 ° C / min, in air, and in a temperature range of 30 ° C to 500 ° C. Additionally, mixtures of Amber PET (PA) with transparent PET (PT) and green PET (PV) were made in the following proportion: 70% PA-30% PT, 70% PA-30% PV, and 70% PA-15% PT -15% PV to improve the mechanical properties and achieve different tonalities in the plate. The results suggest that the temperature and the optimal time to melt the plates were 320 ° C and 40 minutes respectively, reaching a flexural strength of 71 MPa. Under these same conditions of temperature and time, the mixtures with transparent PET and green PET present a significant decrease in the resistance to flexion. It concluded that the plates obtained from recycled PET are suitable for decorative use, since according to the mechanical tests these reached 71 MPa for the bending test.

Keywords: Amber PET; recycling; plastic; waste; materials.

Introducción

En la actualidad es difícil prescindir de los plásticos, no sólo por su utilidad sino también por la importancia económica que tienen. Esto se refleja en los índices de crecimiento de esta industria que, desde principios del siglo pasado, supera a casi todas las actividades industriales. En Colombia, la industria del plástico se ha caracterizado por ser, en condiciones normales, la actividad manufacturera más dinámica de las últimas tres décadas, con un crecimiento promedio anual del 7% (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

Los plásticos se utilizan para envasar, conservar y distribuir alimentos y bebidas que pueden llegar a la población en forma segura, higiénica y práctica. En la actualidad uno de los materiales más usados por el hombre como materia prima para la fabricación de envases es el PET (polietileno tereftalato), el cual debido a las características que posee lo hacen indicado para este tipo de uso. El PET es un material 100 % reciclable, lo cual es una ventaja; pero debido al gran volumen de residuos generados en el planeta, los residuos poliméricos permanecen mucho tiempo en la naturaleza ya que necesitan un tiempo elevado para descomponerse y los rellenos sanitarios ya no dan abasto, además algunos de estos residuos se contaminan debido a la proliferación de bacterias. El reciclaje del PET se hace de forma mecánica (Awaja y Pavel, 2005), convirtiendo los residuos nuevamente en materia prima para la fabricación de diferentes productos. Sin embargo debido a su baja densidad dificulta el almacenamiento y genera bajas remuneraciones en precio por lo que no se hace atractivo para los recicladores (da Rosa, Michelin y Campomanes, 2011).

El PET es un polímero que se obtiene de la combinación de ácido tereftálico y etilenglicol (Awaja y Pavel, 2005), ambos obtenidos a partir del petróleo, por lo cual se presenta un gran impacto ambiental para la obtención del mismo y además es el material más utilizado actualmente por la industria para la fabricación de envases; el consumo global del PET se calcula en 12 millones de toneladas al año con un crecimiento anual de 6% (Ortega, 2012).

Por otro lado Ramírez (2011) en su investigación plantea una propuesta de uso del Polietileno Tereftalato –PET- reciclado como material de refuerzo para la fabricación de elementos de construcción y así contribuir a minimizar el impacto que generan los desechos plásticos industriales, domésticos y de consumo en el medio ambiente. La mayoría de los envases de plásticos usados en la industria están compuestos de materiales poliméricos no desechables, que generan un alto nivel de contaminación después de su uso. Por este motivo, existe la necesidad de intentar reciclar con eficacia aquellos materiales de desecho contaminantes, y así detener o intentar limitar el proceso de contaminación que generan (Ramírez, 2011).

Ya que el PET es reciclable, los envases que son recuperados se transforman de forma mecánica, pero el problema central para el reciclaje del PET es la recolección debido a las reducidas tasas de retorno y el bajo incentivo que no luce muy atractivo para los recolectores; así como la separación de otros componentes ya que puede llegar a confundirse con otros tipos de plástico, sin embargo existen algunos métodos de separación pero estos generan que se eleven los costos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorio, 2004). Respecto al almacenamiento, éste puede producir riesgo para la salud, ya que se presentan envases contaminados con alimentos y bebidas (Careaga, 1993). A todo lo anterior se suma el

hecho de que algunos sectores de mercado presentan resistencia hacia el uso de materiales reciclados en algunos productos (Valderrama, y Chavarro, 2014).

Debido a las grandes cifras de consumo de PET y al problema de reciclaje del mismo, esta investigación tiene como objetivo aprovechar los residuos de PET que se están acumulando en los vertederos, logrando obtener placas decorativas y así darle otro uso a este material. Para esto se realizaron diferentes técnicas de caracterización térmica y ensayos mecánicos. Con lo anterior se busca establecer una técnica que conlleve a la disminución de este material en los rellenos sanitarios, y así contribuir a la conservación del medio ambiente (ONU, 1992).

Metodología

Material

Para la realización de este estudio se utilizaron botellas de PET ámbar, verde y transparente pos consumo, las cuales fueron previamente lavadas y cortadas en hojuelas de aproximadamente 1 cm² (Figura 1). El material se recolectó de centros de acopio de reciclaje. Para la elaboración de las placas, se utilizaron 60 gramos de PET ámbar con el fin de obtener dimensiones de 10 cm de ancho, 10 cm de largo y 0,5 cm de espesor, equivalente a un volumen de 50 cm³.



Figura 1. PET en hojuelas.
Fuente: Los autores.

Métodos

Con el fin de optimizar la temperatura y el tiempo de residencia en el horno, se evaluaron las siguientes temperaturas: 320 °C, 330 °C, 340 °C, con base en la caracterización térmica realizada a los materiales mediante la técnica de TGA/DSC (Figura 2). Para cada temperatura se utilizaron tres tiempos de sostenimiento diferentes: 20, 30, 40 minutos, tiempos definidos después de realizar varias corridas en el horno, y la variable de respuesta fue la resistencia a la flexión. Se determinó optimizar los factores tiempo y temperatura para el PET AMBAR ya que este es el material objeto del presente estudio. Posteriormente, teniendo los parámetros óptimos, se elaboraron mezclas de PET Ámbar (PA) con PET transparente (PT) y PET verde (PV), realizando dos mezclas binarias y una ternaria 70%PA-30%PT, 70%PA-30%PV, y 70%PA-15%PT-15%PV con el fin de cambiar la tonalidad de las placas y evaluar el efecto en la resistencia a la flexión.

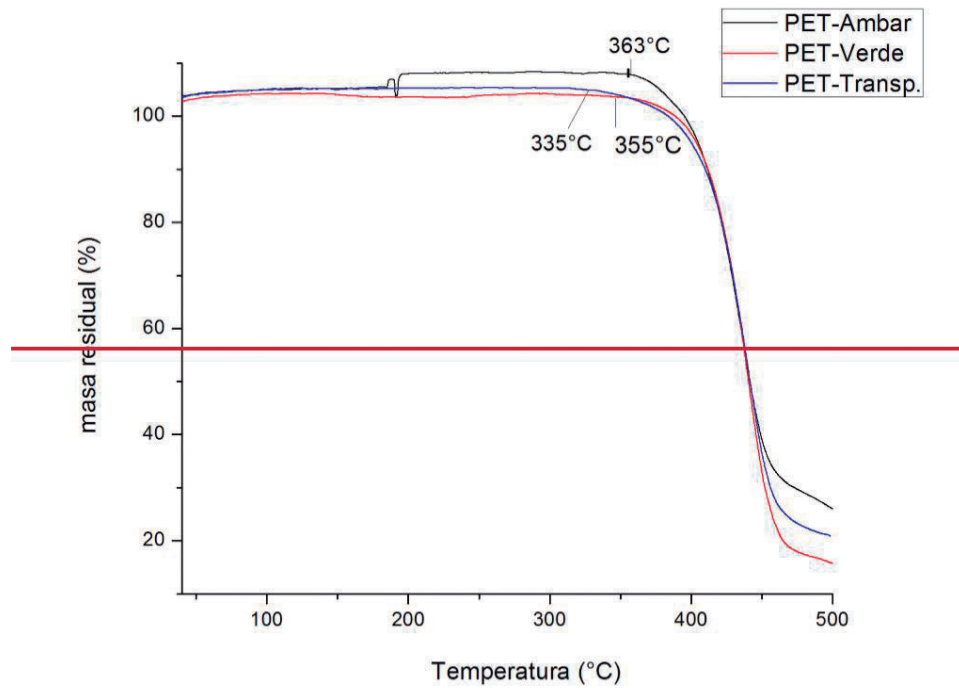


Figura 2. Curvas de TGA para PET ámbar, PET verde y PET transparente.
Fuente: Los autores

Para darle forma a la placa, se fundió el PET en un molde de acero de geometría cuadrada y dimensiones 10 cm X 10 cm (Figura 3). El molde necesitó un calentamiento previo aproximadamente 15 minutos a la temperatura de trabajo para garantizar que la temperatura del horno y el molde fuera la misma al momento de introducir el material. Posteriormente se retiró el molde con el material del horno, y se esperaron 30 segundos para evitar que se deformara la placa durante su enfriamiento en agua. Se escogió agua como método óptimo de enfriamiento ya que un enfriamiento rápido evita la cristalización del material (Mano, 2003). Se utilizó papel antiadherente con teflón para desmoldar fácilmente las placas.



Figura 3. Molde.
Fuente: Los autores.

La caracterización térmica de los materiales antes de procesarlos se realizó mediante la técnica de análisis térmico gravimétrico (TGA, por sus siglas en inglés) y calorimetría diferencial de barrido (DSC, por sus siglas en inglés) en un equipo Mettler Toledo bajo las siguientes condiciones: velocidad de calentamiento 10 °C/min, en aire, y en un rango de temperatura entre 30 °C y 500 °C. El ensayo de resistencia a la flexión se realizó con base en la norma ASTM D790 (American Society for Testing and Materials, ASTM, 2011) mediante el uso de la máquina universal Tinius Olsen H50KS que se encuentra en el laboratorio de ensayos de la Universidad del Valle. Para este ensayo se cortaron probetas rectangulares a partir de las placas, con las dimensiones basadas en las especificaciones de la norma mencionada anteriormente.

Resultados y análisis

• Análisis Termo Gravimétrico (TGA)

La Figura 2 muestra las curvas de porcentaje de masa residual en función de la temperatura para los tres tipos de PET. Se observa que el porcentaje de pérdida de masa para los materiales es aproximadamente el 80% coincidiendo con lo reportado por Arrazola *et al.*, 2013.

Esta pérdida de masa comienza a 335, 355 y 363 °C para PET transparente, PET verde y PET ámbar respectivamente, lo cual se atribuye al inicio de la degradación térmica (Th) de estos materiales. La degradación térmica de los materiales estudiados en la presente investigación es menor a la de un PET virgen, la cual se encuentra alrededor de 380°C (Arrazola *et al.*, 2013), debido a que estos fueron procesados anteriormente y a su contenido de cargas y aditivos. Según la curva de TGA (Figura 3), la temperatura de procesamiento para los tres tipos de PET utilizados en este estudio no debe exceder los 335°C. En el caso de realizar mezclas entre estos y de utilizarse individualmente se debe tener en cuenta no exceder la temperatura de degradación para cada uno de ellos.

• Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Generalmente, el PET presenta una temperatura de transición vítrea (Tg) alrededor de 79°C (Mano, 2003) sin embargo en las curvas de DSC de la figura 4, este pico endotérmico característico no se observa con claridad debido a que los polímeros con gran porcentaje de cristalinidad no exhiben claramente la temperatura de transición vítrea. En la figura 4 se observa un pico endotérmico correspondiente a la temperatura de fusión (Tm) a 251°C para los tres tipos de PET, coincidiendo con el rango de fusión (240-260°C) de PET encontrado por Araque, 2008; Callister, 1996.

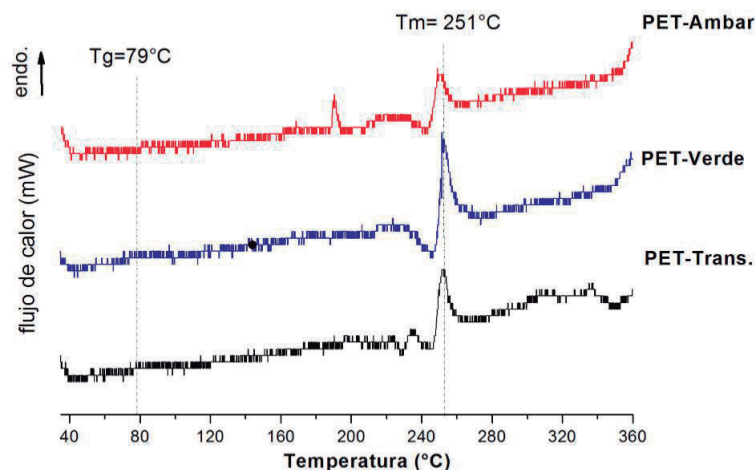


Figura 4. Calorimetría diferencial de barrido para diferentes tipos de PET.

Fuente: Los autores.

• Resistencia a la flexión

El ensayo de flexión fue realizado a las probetas de PET ámbar obtenidas de la placa fundida, ya que en primera instancia se requiere hallar una muestra óptima para posteriormente realizar las mezclas entre los diferentes tipos de PET. En la Figura 5 se evidencia que las probetas que fueron sometidas a diferentes temperaturas por un tiempo de 20 minutos mostraron resistencias menores a 35 MPa, por lo que fueron descartadas ya que alcanzaron resistencias bajas en comparación con las otras probetas. Además, aquellas probetas que fueron tratadas a 320°C y 340°C por 30 min mostraron resistencias más bajas, razón por la cual también fueron descartadas.

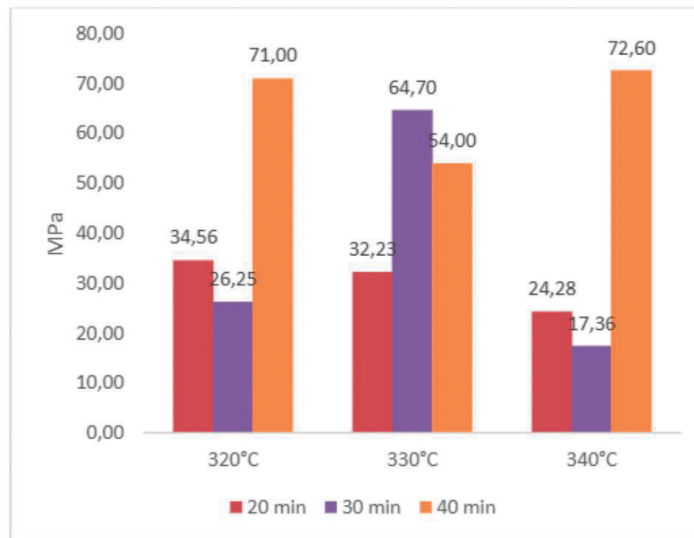


Figura 5. Resultados ensayos de flexión para PET ámbar.
Fuente: Los autores.

La muestra que presentó la mayor resistencia (72,60 MPa) fue la tratada a 340°C por 40 min, sin embargo se decidió tomar como muestra óptima, aquella que se trató a 320°C por 40 min, debido a que requiere menor consumo energético obteniendo resistencias (71 MPa) similares a la máxima. A pesar de que el material obtenido en la presente investigación ya ha sido procesado dos veces, las resistencias de éste se acercan al límite inferior del rango establecido para el PET virgen (80-110 MPa) (Núñez, Roca, y Jorba, 2013).

La Figura 6 b) muestra la curva esfuerzo vs deformación del ensayo a flexión para la muestra de PET ámbar a 320°C y 40 min, en la cual se observa un comportamiento duro y resistente según la gráfica obtenida (Billmeyer, 1975). Además en la Figura 6 a) se aprecia que la probeta no falla de manera catastrófica.

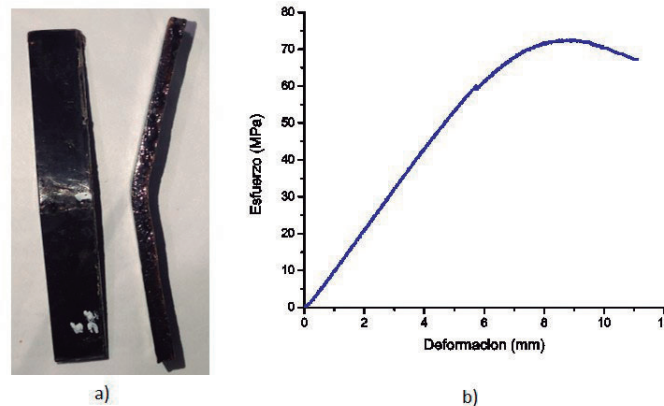


Figura 6. Resultados ensayos de flexión para PET ámbar.
Fuente: Los autores.

Según los resultados que obtuvo Ramírez (2011) en su investigación, la matriz de resina poliéster y adición de PET exhibe un comportamiento de falla frágil, lo cual indica que el material obtenido en la presente investigación puede ser aplicado como una opción de matriz para la elaboración de materiales compuestos.

Ramírez (2011), además estudió la resistencia a la flexión para PET reciclado transparente fundido en horno a condiciones similares y obtuvo resistencias máximas de 9,9 MPa. Además de investigar la resistencia a la flexión de un material compuesto donde se utiliza el PET molido como carga y resina poliéster como matriz, obteniendo resistencias máximas a la flexión de 13 y 14 MPa, lo anterior indica que el material obtenido en la presente investigación puede ser aplicado como una opción de carga para la elaboración de materiales compuestos.

• Mezclas de PET

Se realizaron mezclas con incorporación de PET transparente (PT) y PET verde (PV) con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas y lograr diferentes tonalidades en la placa, como se observa en la Figura 7.



Figura 7. Muestras de las mezclas de PET: a) PA-PV, b) PA-PV-PT, c) PA-PT.
Fuente: Los autores.

En la Figura 8 se muestran los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la flexión para la muestra óptima (100% PA) y para las distintas mezclas binarias y ternarias. Se obtuvo a partir de los resultados de resistencia a la flexión (Figura 5) que la muestra óptima presenta mayor resistencia (71 MPa), seguido por la mezcla elaborada con PA-PV la cual presentó una resistencia de 31,03 MPa, en este mismo orden, la mezcla elaborada con PA-PT presenta menor resistencia (17,09 MPa); Este comportamiento se atribuye a que el PT y el PV presentan temperaturas de degradación (335 y 355 °C) cercanas a la de procesamiento 320°C. Por el contrario, el buen desempeño de la muestra PA ocurre debido a que la temperatura de degradación (363°C) es más alta con respecto a las de PT y PV, como se mencionó en el análisis termo gravimétrico (Figura 3), lo que ayuda a evitar que este se degrade.

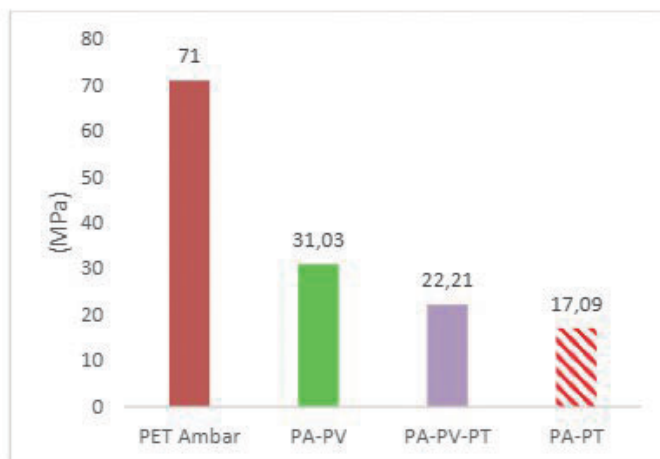


Figura 8. Resistencia a la flexión para mezclas de PET.
Fuente: Los autores.

Conclusiones

El proceso realizado con PET ámbar reciclado es un proceso no convencional ya que no corresponde a los procesos de reciclaje mecánico tradicional. Se optimizaron variables como temperatura y tiempo 320°C, y 40 minutos; empleando un enfriamiento en agua. Estos resultados muestran que este proceso es una buena opción para disminuir el impacto ambiental ya que se necesita gran volumen de PET para la elaboración de cada placa.

Basados en los resultados de los análisis térmicos de los diferentes tipos de PET, se encontró que al adicionar PT y PV se presenta disminución en la resistencia a la flexión debido a que la temperatura de degradación de los mismos está cercana a la temperatura de trabajo (320 °C); sin embargo, las mezclas que se desarrollaron con PET de otra pigmentación, permitieron modificar tonalidades de las placas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al centro ASTIN-SENA y a la línea de Biotecnología y Nanotecnología de TECNOPARQUE nodo Cali por poner a su disposición la infraestructura para el desarrollo del presente estudio.

Referencias

- Araque, N. (2008). *Estudio y caracterización de la degradación hidrolítica y compostaje de PET virgen y reciclado*. (Tesis de pregrado). Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Colombia.
- Arrazola, A., Gomez, W., Morales, M., Plata, D., Ramos, J., Osorio, S., ... Meza, E. (2013). Análisis de la degradación térmica mezclas de politereftalato 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.
- ASTM. (2011). *Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials*, Annual Book of ASTM Standards 1–11. doi: <https://doi.org/10.1520/D0790-10>
- Awaja, F., y Pavel, D. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41, 1453–1477. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.02.005>
- Billmeyer, F. W. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Barcelona, España: Reverté.

- Callister W. (1996). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Barcelona, España: Reverté.
- Careaga, J. (1993). *Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes*. México D.F, México: Instituto Nacional de Ecología.
- Da Rosa, Anie.; Michelin, Carlos.; Campomanes, R. (2011). Reciclaje de PET : evaluación de la eficiencia de separación del contaminante PVC. *ECIPERU*, 8(1), 12.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1998). *Normas técnicas colombianas (NTC) contenidas en las NSR-98: Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- Mano, J. F. (2003). Propiedades Térmicas de los Polímeros en Enseñanza de la Ciencia de Materiales e Ingeniería - Estudios DSC sobre POLI (Tereftalato de Etileno). *Journal of Materials Education*, 25(4-6), 155-170.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo*. Recuperado de [http:// www.documentacion.ideam.gov.co](http://www.documentacion.ideam.gov.co).
- Núñez, C., Roca, A., y Jorba, J. (2013). *Comportamiento mecánico de los materiales. Volumen II. Ensayos mecánicos. Ensayos no destructivos*. Barcelona, España: Edicions de la Universitat de Barcelona.
- ONU. (1992). *Declaracion De Rio sobre el medio ambiente y el desarrollo*. Recuperado de [http:// www.onu.org](http://www.onu.org).
- Ortega, M. (2012). El reciclaje de PET está en su mejor momento. *Tecnología del plástico*, 26(4), 12-16.
- Ramirez, D. S. (2011). *Propuesta de un material compuesto con base al PET reciclado con aplicaciones en construccion* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Valderrama, F., M., y Chavarro, L. E. (2014). *Estudio dinamico del impacto ambiental asociado al reciclaje y reutilizacion de envases PET en el Valle del Cauca*. Universidad del Valle (tesis). Universidad del Valle, Cali, Colombia.