

## Obtención de un material compuesto con polipropileno reprocesado y reforzado con fibra de vidrio

### Obtaining a composite material with reprocessed polypropylene and reinforced with fiberglass

GARCÍA-VELÁZQUEZ-Ángel\*†, AMADO-MORENO, María Guadalupe, SEUFERT-GARCÍA, Ofelia Jasmín y BELTRÁN-FÉLIX, Paola Lizeth

*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Mexicali, Av. Tecnológico S/N Col. Elías Calles, Mexicali, B.C., C.P. 21376*

ID 1<sup>er</sup> Autor: Ángel, García-Velázquez

ID 1<sup>er</sup> Coautor: María Guadalupe, Amado-Moreno

ID 2<sup>do</sup> Coautor: Ofelia Jasmín, Seufert-García

ID 3<sup>er</sup> Coautor: Paola Lizeth, Beltrán-Félix

Recibido 23 de Marzo, 2018; Aceptado 12 de Mayo, 2018

#### Resumen

Reciclar es en la actualidad una necesidad, sobre todo los plásticos que se degradan lentamente y contaminan suelo, ríos y mares. El objetivo de la investigación fue obtener un material compuesto con polipropileno reprocesado y reforzado con fibra de vidrio. Se realizó en el Laboratorio de Materiales Compuestos del Instituto Tecnológico de Mexicali. Al material compuesto se le realizaron pruebas de tensión, flexión, impacto y absorción de humedad. Los resultados permitieron obtener una formulación óptima del material compuesto, con el cual se pueden moldear diferentes accesorios de uso común. Contribución: El polipropileno reprocesado utilizado provino de tapas de botella y defensas plásticas de automóvil. Con esta investigación se promueve el uso de tecnologías económicas para la formación integral de estudiantes de licenciatura que desarrollan su potencial al ser incluidos en proyectos de investigación científica, tecnológica y de innovación para una educación de calidad. Este tipo de investigaciones constituye una alternativa para la reutilización de desechos plásticos, contribuyendo en la reducción de la contaminación plástica que generan las tapas de botella y las defensas de automóvil en Mexicali.

#### Materiales compuestos, Polipropileno, Fibra de vidrio

**Citación:** GARCÍA-VELÁZQUEZ-Ángel, AMADO-MORENO, María Guadalupe, SEUFERT-GARCÍA, Ofelia Jasmín y BELTRÁN-FÉLIX, Paola Lizeth. Obtención de un material compuesto con polipropileno reprocesado y reforzado con fibra de vidrio. Revista del Diseño Innovativo. 2018, 2-3: 22-26

#### Abstract

Recycling has currently become a necessity, especially in relation to plastics; which are slowly degraded and eventually contaminate soil, rivers and oceans. The objective of this research was to obtain a composite material with reprocessed polypropylene and reinforced with fiberglass. The experiment was accomplished in the Laboratory of Composite Materials at Instituto Tecnológico de Mexicali (ITM). The composite material was exposed to tension; flexibility, impact and water absorption tests. The results provided an optimal formula of the composite material; which can be moulded into different common use accessories. Contribution: The reprocessed polypropylene used in this research was obtained from bottle caps and plastic car bumpers. This research supports the use of economical technologies in order to develop the potential of university students by including them in scientific; technological and innovation research projects; which provide them with a high-quality education. This kind of research remains as an alternative to reuse plastic waste and also as a contribution to plastic pollution decrease caused by bottle caps and car bumpers in Mexicali.

#### Composite materials, Polypropylene, Fiberglass

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: angel.g20@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

La presencia de plásticos en los residuos sólidos urbanos se ha incrementado de forma continua en las últimas décadas principalmente por ser utilizados en productos de vida útil corta y que por ende son desechados rápidamente. Se ha estimado que alrededor del 50% de los plásticos que se producen se destinan a aplicaciones de un solo uso, mientras que el 20 y 25% se emplean en la construcción y el resto en la fabricación de otros productos, como electrónicos, muebles y vehículos (Hopewell et. al., 2009).

Un material compuesto es la unión, sin reacción química, de dos materiales con diferentes propiedades. Uno es una resina aglutinante y por lo general el otro es una fibra que proporciona la resistencia al material (Flinn, 2008). La mezcla correcta de ellos produce materiales compuestos con mejores propiedades que las partes que lo componen por separado (Hull, 2003).

Polímero, de los vocablos griegos significa muchas partes. Son moléculas con elevados pesos moleculares (Seymour y Carraher, 2002).

Los plásticos son considerados polímeros y pueden clasificarse de acuerdo a su comportamiento ante el calor de diferentes formas, según Crawford (1999) los tres tipos de plásticos más conocidos son:

**Termoplásticos.** Pueden fundirse una vez que hayan sido procesados y por ello son reciclables. Los más comunes son: el polietileno, polipropileno (PP), poliestireno y policloruro de vinilo. Poseen buenas propiedades mecánicas, son fáciles de procesar, solubles en algunos disolventes orgánicos y económicos.

**Termoestables.** Son aquellos que al ser procesados no pueden volver a fundirse al aplicarles calor.

**Elastómeros o cauchos.** Son aquellos capaces de soportar deformaciones muy grandes recuperando su forma inicial una vez que se elimina el esfuerzo aplicado.

Un aditivo es aquella sustancia química que se incluye en la formulación de un plástico para modificar y mejorar sus propiedades físicas, mecánicas y de proceso (Beltrán y Marcillas, 2012).

Un agente de acoplamiento es un aditivo que se utiliza para establecer una unión química entre dos materiales químicamente incompatibles (Flinn, 2008).

Se utilizó filamentos de fibra de vidrio discontinua como refuerzo, el cual es el principal constituyente del soporte de la carga en el material compuesto.

El polipropileno es un polímero cuya aplicación ha ido en aumento, se encuentra comúnmente en las tapas de botella plástica, lo que provoca una mayor cantidad de residuos sólidos de este material, que puede ser aprovechado mediante el reciclaje. Es también uno de los materiales plásticos de mayor abundancia en los desechos domésticos generados en el Instituto Tecnológico de Mexicali, lugar donde se realizó la investigación, además de ser un material altamente resistente a la intemperie, de ahí la necesidad de buscar nuevos métodos para reciclar dicho material donde éste producto fuera la materia prima principal, obtenido de las tapas plásticas de botellas y defensas de automóvil, reforzado con fibra de vidrio y un agente de acoplamiento, para poder obtener un material compuesto con alta resistencia.

## Objetivo

Obtener un material compuesto con polipropileno reprocesado y refuerzo de fibra de vidrio, con el cual se pueden moldear diferentes accesorios de uso común.

## Metodología

Se realizó una investigación de tipo experimental. Los materiales utilizados fueron polipropileno de tapas de botellas como resina principal, plástico de defensas de automóvil, anhídrido maléico como agente de acoplamiento y fibra de vidrio como refuerzo.

## Etapas de la investigación

- Recolectar y triturar polipropileno de tapas de botella y defensas de automóvil.

- Desarrollar la parte experimental. Las combinaciones o formulaciones se realizaron con respecto a la resina principal: concentración de defensa plástica de automóvil: 0%, 20%, 30%, y 40%; concentración de fibra de vidrio de 0%, 20%, 30%, 40% y 50%; el agente de acoplamiento se mantuvo al 1.5 %. Representándose cada formulación DA-FV-AA siendo porcentaje de defensa de automóvil, fibra de vidrio y agente de acoplamiento respectivamente.
- Obtener el material compuesto para cada formulación, utilizando un extrusor monohusillo.
- Triturar en un peletizador el material compuesto de cada formulación.
- Elaborar probetas de acuerdo a las Normas ASTM, con las diferentes formulaciones del material compuesto para las pruebas de absorción de humedad, flexión, impacto y tensión. Se utilizó moldeo por inyección, en una máquina de inyección marca Vulcano de 250 gramos.
- Realizar pruebas de absorción de humedad, flexión, impacto y tensión.
- Determinar la formulación que muestra mejores propiedades para el producto final.

## Resultados

### Prueba de absorción de humedad

Se realizó por diferencias de peso como lo establece la norma ASTM D570-98. Las probetas fueron secadas a 110 °C durante 24 horas, fueron pesadas y posteriormente se introdujeron en agua destilada durante 24 horas, al cumplirse el tiempo se les retiró el agua de la superficie y se pesaron de nuevo. La diferencia de peso se utilizó para calcular el contenido de humedad de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de AH} = \frac{(\text{PH} - \text{PS})}{\text{PS}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

AH: Absorción de humedad

PH: Peso húmedo

PS: Peso seco

Utilizando (1) se obtuvo el porcentaje de absorción de humedad para cada formulación de los materiales compuestos obtenidos.

Formulación	% de absorción de humedad
20-30-1.5	0.027
30-0-0	0.033
20-50-1.5	0.046
30-30-1.5	0.024
30-40-1.5	0.038
40-40-1.5	0.042
0-30-1.5	0.035
100% tapas	0.032

**Tabla 1** Prueba de humedad para cada formulación  
Fuente: Elaboración propia

Con los resultados mostrados en la Tabla 1 en la prueba de absorción de humedad es difícil establecer alguna tendencia, debido a los porcentajes tan bajos de absorción de humedad y a las variaciones presentadas, por lo que puede considerarse que el material compuesto obtenido no es higroscópico, coincidiendo con Flinn (2008) en donde se establece la baja absorción de humedad que presenta el polipropileno.

### Prueba de flexión

Con ella se midió la capacidad que tiene el material a doblarse sin romperse, debido a la aplicación de una carga. Se determinó según la norma ASTM D790-02 aplicable a plásticos y a materiales compuestos.

Es importante mencionar que durante la inyección de las probetas las formulaciones que tenían mayor porcentaje de plástico de defensas de automóvil fueron inyectadas con mayor facilidad, lo cual se debe a que la formulación cuenta con los aditivos de proceso que el plástico de defensas de automóvil le proporciona.

Los resultados obtenidos de las pruebas de flexión muestran en la Tabla 2 que la formulación que presenta mayor esfuerzo a la flexión es 20-50-1.5 le sigue 40-40-1.5 y posteriormente 100% tapas. Siendo los de mayor concentración de fibra de vidrio los que presentan mayor esfuerzo para ser doblados.

Formulación	Módulo de Flexión (MPa)	Desviación Estándar
20-30-1.5	344.67	17.4
30-0-0	256.73	25.16
20-50-1.5	613.44	18.19
30-30-1.5	412.17	45.6
30-40-1.5	559.22	23.49
40-40-1.5	578.91	35.36
0-30-1.5	434.23	33.86
100% tapas	564.32	44.54

**Tabla 2** Prueba de flexión para cada formulación

Fuente: *Elaboración propia*

### Prueba de impacto

Se utilizó para determinar la tenacidad del material y obtener la energía absorbida en el impacto de la rotura de las probetas. Se estableció según la norma ASTM D256-93. Utilizando una máquina de impacto Monsanto tensómetro de doble brazo, modalidad Isod, mostrada en la Figura 1, que maneja para medir la energía absorbida en la rotura de las probetas una velocidad de impacto de 3.5 m/s, el valor de esta energía es definido como la diferencia entre la energía inicial del péndulo y la energía remanente en el péndulo después de romper la probeta.



**Figura 1** Máquina de impacto Monsanto tensómetro de doble brazo, modalidad Isod

Fuente: *Equipo de investigación*

Los resultados de la prueba de impacto se presentan en la Tabla 3, las formulaciones que muestran mayor resistencia al impacto son las de 20-50-1.5, 40-40-1.5, 30-40-1.5 y 20-30-1-5, las cuales no mostraron desprendimiento de fibra de vidrio, fueron de fácil procesabilidad durante la extrusión de mezclado y la inyección de las probetas.

Formulación	Resistencia al impacto Isod (KJ/m <sup>2</sup> )	Desviación estándar
20-30-1.5	40.850	3.80
30-0-0	12.787	14.62
20-50-1.5	44.344	2.71
30-30-1.5	40.070	3.66
30-40-1.5	40.830	1.58
40-40-1.5	41.484	4.67
0-30-1.5	35.400	3.75
100% tapas	38.560	0.23

**Tabla 3** Prueba de impacto para cada formulación

Fuente: *Elaboración propia*

### Prueba de tensión

Se utilizó para determinar el esfuerzo máximo que un material puede resistir antes de su rotura cuando es tensionada por ambos extremos, con temperatura, humedad y velocidad de deformación especificadas según la norma ASTM D638. Se obtuvo también el módulo elástico o de Young y el porcentaje de elongación o de deformación del material.

En la Tabla 4 se muestra el esfuerzo máximo para cada formulación, el módulo elástico y el porcentaje de elongación del material se presenta en la Tabla 5.

Se observa en la Tabla 4 que las formulaciones con esfuerzo máximo a la rotura fueron las de 40-40-1.5, 20-50-1.5, 30-40-1.5, comportamiento debido a la alta concentración de fibra de vidrio.

Formulación	Esfuerzo máximo (Mpa)	Desviación estándar
20-30-1.5	21.38	0.633
30-0-0	19.21	0.231
20-50-1.5	38.92	0.482
30-30-1.5	21.47	0.455
30-40-1.5	37.92	1.256
40-40-1.5	40.80	0.335
0-30-1.5	15.55	0.255
100% tapas	19.01	0.704

**Tabla 4** Esfuerzo máximo para cada formulación

Fuente: *Elaboración propia*

Puede observarse en la Tabla 5 que el valor máximo del módulo elástico lo presentan las formulaciones 20-50-1.5 y 40-40-1.5 debido a la mayor cantidad de fibra de vidrio.

Con la primera formulación se observó que la procesabilidad al momento de extruir e inyectar no fue buena ya que la mezcla no era homogénea, ni consistente ya que se desprendió la fibra de vidrio con facilidad, mientras que la segunda formulación fue homogénea y se pudo procesar con facilidad.

No se observó mucha variación en el porcentaje de elongación en las diferentes formulaciones, a excepción de las fórmulas 30-0-0 y 100% tapas.

Formulación	Módulo elástico (MPa)	$\sigma$	% de elongación	$\sigma$
20-30-1.5	2.662	0.230	15.200	2.255
30-0-0	2.112	0.052	137.918	138.878
20-50-1.5	3.292	0.251	12.038	1.074
30-30-1.5	2.714	0.188	13.835	1.568
30-40-1.5	2.920	0.124	13.053	7.152
40-40-1.5	3.180	0.194	12.939	4.902
0-30-1.5	2.100	0.231	9.840	1.687
100% tapas	1.482	0.850	18.709	3.613

**Tabla 5** Módulo elástico y % de elongación para cada formulación

Fuente: *Elaboración propia*

### Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por haber financiado el proyecto en la Convocatoria de Apoyo a la Investigación Científica, Aplicada, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2016.

### Conclusiones

Una vez analizados los resultados de cada una de las pruebas, la procesabilidad durante la extrusión de la mezcla y la inyección de las probetas, así como la consistencia de la pieza inyectada, se seleccionó la mejor formulación del material compuesto obtenido para el moldeo por inyección de accesorios de uso común como coples, codos, estacas para casas de acampar, rodamientos entre otros.

El mejor material compuesto obtenido, fue aquel que contiene en su formulación 40% de plástico de defensas de automóvil, 40% de fibra de vidrio y 1.5% de agente de acoplamiento (40-40-1.5) porcentajes referidos a la cantidad total de polipropileno de tapas de botella.

Representa este material compuesto una alternativa para el reciclado de plásticos reprocesados por inyección.

Las nuevas formulaciones de materiales compuestos con materiales plásticos reprocesados, constituyen un área de oportunidad para aplicaciones en el sector manufacturero.

Se recomienda medir el índice de fluidez para contar con un parámetro cuantitativo de la procesabilidad de la formulación y también medir la estabilidad dimensional del material compuesto obtenido. Así como variar el porcentaje de agente de acoplamiento en la formulación para verificar la posibilidad de alcanzar un porcentaje del 50% o más de fibra de vidrio y mantener las propiedades mecánicas y de procesabilidad.

Realizar un estudio de los posibles mecanismos de degradación que presentan el polipropileno y las defensas de automóvil por medio de termogravimetría y calorimetría diferencial de barrido.

### Referencias

- Beltrán, M., Marcillas, A. (2012). *Tecnología de polímeros: Procesado y propiedades*. San España: Publicaciones Universidad de Alicante
- Crawford, R. (1999). *Plastic Engineering*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Flinn, R., Trojan, P. (2008). *Materiales de ingeniería y sus aplicaciones*. Colombia: McGrawHill.
- Hopewell, J., Dvorak, R., Kosior, E. (2009). Reciclaje de plásticos: desafíos y oportunidades. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2115-2126. Doi: 10.1098/rstb.2008.0311
- Hull, D. (2003). *Materiales compuestos*. España: Reverté S. A.
- Seymour R. B., Carraher, C. E. (2002). *Introducción a la química de los polímeros*. (segunda edición). España: Reverté S. A.