

Evaluación de compuestos de PP-residuos de mezclilla para la elaboración de un nuevo material para el diseño de productos

Evaluation of a new composite material based on PP-denim scrap for product design

JAIME FRANCISCO GÓMEZ-GÓMEZ*, FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ-MADARIAGA*, LUIS ALBERTO ROSA-SIERRA*, TOBIAS ABT**

RESUMEN. El creciente interés de las empresas manufactureras por utilizar sus residuos como materia prima para el desarrollo de nuevos productos, las lleva a buscar nuevas formas de procesamiento para dichos residuos. El presente proyecto surge de la inquietud de una empresa del sector de la confección dedicada a la fabricación de pantalones en el esfuerzo de aprovechar los residuos que diariamente produce, así como reutilizarlos en la fabricación de otro tipo de producto sin diversificar su capacidad instalada.

Dentro de este grupo de investigación se han efectuado estudios sobre mezclas de mezclilla deshilada con diversos aglutinantes a base de fécula de maíz con agua o bien adhesivos vinílicos (Rosa, González & Corona, 2014). En este informe se dan a conocer algunos avances preliminares con mezclas de este material textil sin deshilar con polipropileno, un residuo abundante a nivel mundial. Se prepararon muestras tipo sándwich y otras en configuración multicapa laminado a presión (*film stacking*), con el objeto de evaluar el efecto de dichas configuraciones en algunas de sus propiedades mecánicas, a flexión y a tracción. Logrando así, una aproximación de partida a experimentos futuros con mezclas de fibras de mezclilla con otros materiales poliméricos termoplásticos con miras a utilizarse en el desarrollo de nuevos productos.

Palabras clave: denim, material compuesto, polipropileno, reciclaje de textiles.

ABSTRACT. The growing interest of manufacturing companies to use its scraps as raw material to develop new products has led them to new ways of processing them. The present project arises from a jeans manufacturing company's interest on making an effort to reuse its daily denim scrap to manufacture a different kind of product without diversifying its capabilities.

Some studies on denim-binder mixtures have been previously performed in this research group, amongst which binders such as starch from corn and vinyl adhesives were used (Rosa, González & Corona, 2014). In the present work some preliminary findings are shown using denim in its woven form combined with polypropylene, a common waste worldwide. Samples were prepared in two different configurations: a sandwich-like material consisting of two denim skins and a polypropylene core and a multilayered "film-stacking" material. The study's aim was to assess the effect of these configurations on some of its mechanical properties under tensile and flexural modes. This is a first approach to configure future experiments using combinations of denim scrap and other thermoplastic polymers in order to use them in new product development.

Key words: denim, composite material, polypropilene, textile recycling.

Fecha de recibido:
17 noviembre 2015
Fecha de aceptado:
10 diciembre 2015

* Universidad de Guadalajara,
México
jaime.gomez@cuaad.udg.mx

francisco.madariaga@cuaad.
udg.mx
alberto.rossa@cuaad.udg.mx

** Universidad Politécnica de
Cataluña, España
tobias.abt@upc.edu

Introducción

Recientemente ha surgido la inquietud por desarrollar mezclas de residuos de materiales de industrias diversas con el objeto de aprovecharlos en la fabricación de nuevos materiales o materiales compuestos, estos últimos se caracterizan por ser la combinación de dos o más elementos constitutivos o fases. Según Matthews (2003), por lo menos debe haber un 5% de ambos elementos constitutivos en el nuevo material compuesto, siendo además sus propiedades finales diferentes a las de los elementos constituyentes. La producción de materiales compuestos con matriz polimérica se clasifica en función del tipo de refuerzo que se agrega a dicha matriz, los hay desde las partículas de origen mineral, como el talco o las arcillas, hasta las fibras, tanto sintéticas como naturales. En el caso de las mezclas polímero-fibra textil, se han efectuado experimentos con lino como refuerzo a matrices de PLA, PLLA, PHB, PBS y PBAT, en donde la resistencia específica a la tracción y módulo de fibras de compuestos lino-PLLA han demostrado ser muy cercanos a los de los materiales compuestos de poliéster-fibra de vidrio (Bodros *et al.*, 2006), y también mejoran las características de materiales compuestos lino-PP (Oksman *et al.*, 2003).

Respecto a los compuestos de mezclilla-PLA, las características mecánicas y térmicas también superan a compuestos similares elaborados con otras fibras textiles (Lee *et al.*, 2010). En cuanto a las mezclas de mezclilla con polipropileno, algunos tra-

bajos con el textil deshilado reportan que a mayor cantidad de materia fibrosa, disminuyen las propiedades a tracción, pero aumentan en modo flexión (Haque, 2014). Entre las aplicaciones industriales de compuestos de polímero con fibras de algodón, el mayor componente de la mezclilla destaca su uso en la industria automotriz en paneles de tapicería y en la mejora de las propiedades acústicas en los interiores de los vehículos (Ahmad, Choi & Park, 2014).

No obstante, lo reportado en la literatura, esta primera aproximación busca evaluar las posibilidades de trabajar con las mezclas sin recurrir a los tratamientos con agentes de acoplamiento, con el objeto de minimizar reprocesos dentro de la empresa. De acuerdo con investigaciones del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), los residuos de plástico constituyen 11% del total de la composición de la basura (Frías, Lema & Gavilán, 2007). Los residuos sólidos de materiales termoplásticos pueden ser reutilizados como materia prima para la fabricación de nuevos productos con la salvedad de que estos materiales se degradan durante el procesamiento, lo que hace que disminuyan algunas de sus propiedades respecto al polímero virgen, aunque no de manera significativa, dependiendo de las condiciones de proceso.

En cuanto al polipropileno (PP), el material polimérico seleccionado, se trata de un polímero semicristalino (presenta tanto fase cristalina como amorfa) y entre sus propiedades más destacadas se encuentra su amplia ventana de procesamiento (lo

que permite su transformación por medio de múltiples procesos), presenta mayor rigidez y temperatura de fusión que el polietileno. Es un material considerado un *commodity* a nivel mundial, ya que su consumo se encuentra en torno al 25% de la demanda total de plásticos (IHS, 2015) y se utiliza en la fabricación de productos de gran variedad, ya que se produce en distintos grados y arquitecturas moleculares. En México, se trata de la resina de mayor consumo, con una cuota que en 2012 se calculaba en torno a 1'102,000 toneladas anuales (Conde, 2012).

En el presente trabajo de investigación se estudió el efecto de la combinación de mezcilla sin deshilar con polipropileno en las propiedades mecánicas a flexión y tracción en dos configuraciones de material compuesto. Es posible producir materiales compuestos con el objeto de aprovechar residuos y que a su vez la respuesta mecánica sea similar a la de los materiales de partida. Se trata de una primera aproximación al tema, por lo que hay otras variables que se deben considerar para incrementar las respuestas mecánicas de estas primeras combinaciones descritas, como la orientación de las fibras de mezcilla o el grado de preestiramiento.

Descripción del método

Materiales

Se prepararon muestras PP-mezcilla usando el material textil sin deshilar. El polímero utilizado fue un grado comercial de copolímero al azar de polipropileno (PP) ISPLEN PR-280 P1M (REPSOL, España) con un índice de fluidez de 21 (230 °C; 2,16 kg, ISO 1133) y una densidad de 0.905 g/cm³ (ISO 1183). La mezcilla utilizada es un material textil

con una composición en trama de 22% de poliéster con 2% de elastano y en la urdimbre con 76% de algodón.

Preparación

Se elaboraron dos tipos de muestras de material compuesto: en tipo sándwich con capas planas exteriores de mezcilla y núcleo de PP, y un material multicapa laminado a presión compuesto por cuatro de mezcilla y cinco de PP (*film stacking*). Para obtener las muestras de ambos materiales se utilizó un marco para moldeo por compresión de cavidad cuadrada de 150 mm por lado y un espesor de 2.5 mm.

Las estructuras tipo sándwich se elaboraron colocando la mezcilla sin triturar sobre la superficie del plato caliente para agregar posteriormente la granza necesaria para llenar la cavidad del marco con material fundido. Se calculó el peso del material y se le agregó un 10% en peso, con el objeto de compensar las pérdidas de material durante el proceso de moldeo. Las muestras se obtuvieron con las siguientes condiciones de proceso: temperatura de platos a 220 °C y presión a 4 MPa y enfriamiento durante 5 minutos. Una vez adherida la primera capa de mezcilla se procedió a colocar la segunda cara del sándwich poniendo la muestra en el marco y plancharla con la prensa durante 2 minutos.

Las muestras multicapa se elaboraron con una presión inicial de 1 MPa durante 3 minutos para progresivamente aumentar la presión a 5 MPa para la compresión de la capa final, durante 5 minutos. La temperatura permaneció constante a 220 °C en todas las etapas del moldeo por compresión.

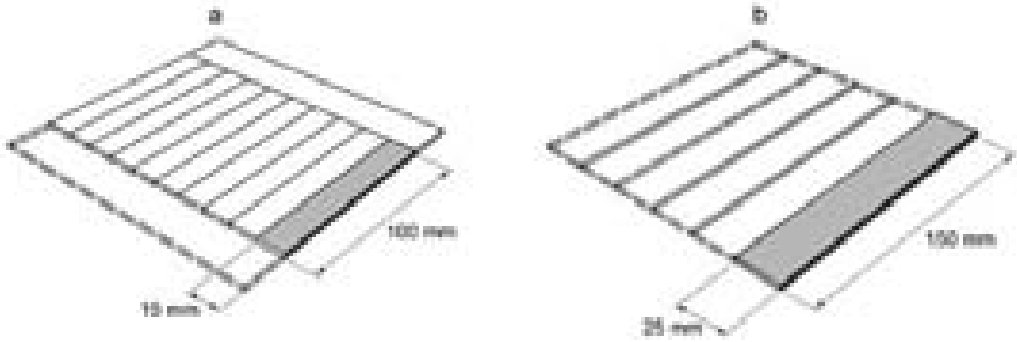


Figura 1. Seccionamiento de probetas para: a) ensayos de flexión; b) ensayos de tracción. Espesor: 2,5 mm. Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento experimental

Las probetas prismáticas para ensayos de flexión y tracción se cortaron de las placas utilizando una sierra de disco de precisión (figura 1). Todos los ensayos se efectuaron con una máquina de ensayos universales Galdabini Sun 2500 dotada con una célula de carga de 5 kN. Los ensayos de flexión en configuración en tres puntos se efectuaron en ambos materiales de conformidad con lo establecido en la norma ISO 178 con una velocidad de 1mm/s. Los ensayos de tracción se efectuaron en las probetas tipo sándwich de conformidad con lo establecido en la norma ISO 527.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan los resultados de los ensayos de tracción y flexión en tres puntos. Se aprecia que los valores del módulo de elasticidad, así como de las resistencias máximas se encuentran por debajo del valor experimental del material polimérico virgen. En el caso del material tipo sándwich se observa que los valores de rigidez son menores, no se encuentran muy lejos de los del material virgen.

Respecto al material multicapa laminado a presión presentaron valores aún menores a los observados en los materiales de tipo sándwich, es decir, a mayor cantidad

Probeta	Tracción			Flexión		
	E (MPa)	σ_M (MPa)	ϵ_B (%)	E_f (MPa)	σ_M (MPa)	ϵ_B (%)
PP virgen	1322 ± 78	42 ± 2	>100	737 ± 72	39,3 ± 0,3	n/b
Mezclilla	283 ± 4	26 ± 1	30 ± 3	-	-	-
Sándwich	1064 ± 65	22 ± 3	12 ± 3	643 ± 208	19,7 ± 7,8	n/b
Laminado 4 capas	-	-	-	305 ± 70	18,5 ± 2,5	n/b

Tabla 1. Comparativa de propiedades mecánicas de compuestos PP-mezclilla respecto al material virgen. Fuente: Elaboración propia.

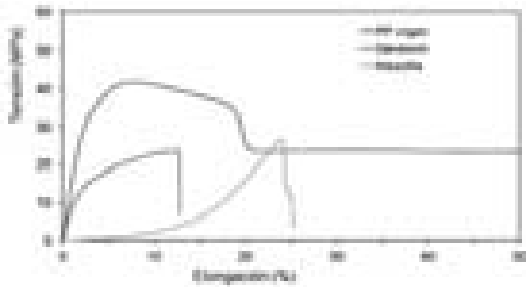


Figura 2. Comparativa del comportamiento a tracción de los compuestos PP-mezclilla respecto al material virgen.
Fuente: Elaboración propia.

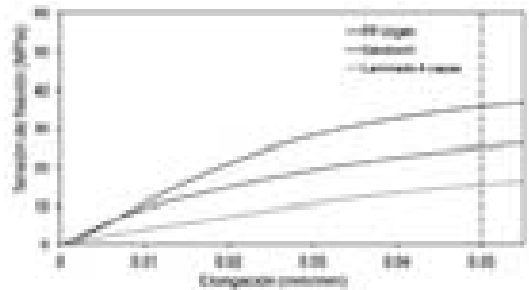


Figura 3. Comparativa del comportamiento a flexión de los compuestos PP-mezclilla respecto al material virgen.
Fuente: Elaboración propia.

de fibras, mayor será la disminución de los valores de las respuestas mecánicas de los compuestos. Debido a que la rigidez de la mezclilla es menor a la de la matriz polimérica, por lo que a mayor cantidad de material textil, mayor será la caída de los valores de las propiedades mecánicas. En la muestra multicapa, la proporción de material textil es mayor y por ende disminuye el volumen del material polimérico en la cavidad del molde.

En las figuras 2 y 3 se observan las respuestas mecánicas de los materiales compuestos en los ensayos, tanto de tracción como de flexión, en tres puntos. Es notorio que el comportamiento mecánico en ambos ensayos se encuentra por debajo del material polimérico virgen. En otros experimentos (Foulk *et al.*, 2006) se ha reportado que el desempeño mecánico del material compuesto aumenta mediante el uso de agentes compatibilizantes o de acoplamiento.

En lo referente a los ensayos de tracción, en la figura 2 se observa un comportamiento semejante a lo presentado en los ensayos

de flexión en tres puntos. Considerando la comparativa de la tabla 1, se advierte que el material sándwich ensayado a tracción presenta un valor del módulo de elasticidad semejante, pero por debajo al del material virgen. Esto se debe a que a bajas deformaciones el material textil de mezclilla no trabaja, pero lo hace a partir de 10% elongación, mientras el compuesto se rompe justo por encima del 10%. No obstante, la respuesta de la tensión máxima cae casi a un valor por mitad del material virgen. La mezclilla no trabaja, pero ocupa un gran volumen del compuesto. Por tanto la mezclilla debilita el compuesto porque es la fase débil además de que actúa como defectos internos y superficiales. Esto se refleja sobre todo en la resistencia y elongación máxima, menos en el módulo.

Respecto a los ensayos de flexión (figura 3), se aprecia los mismos efectos como en tracción, pero como se para el ensayo al 5% de elongación, no se aprecia diferencias en elongación a rotura (todos sin rotura hasta 5%)

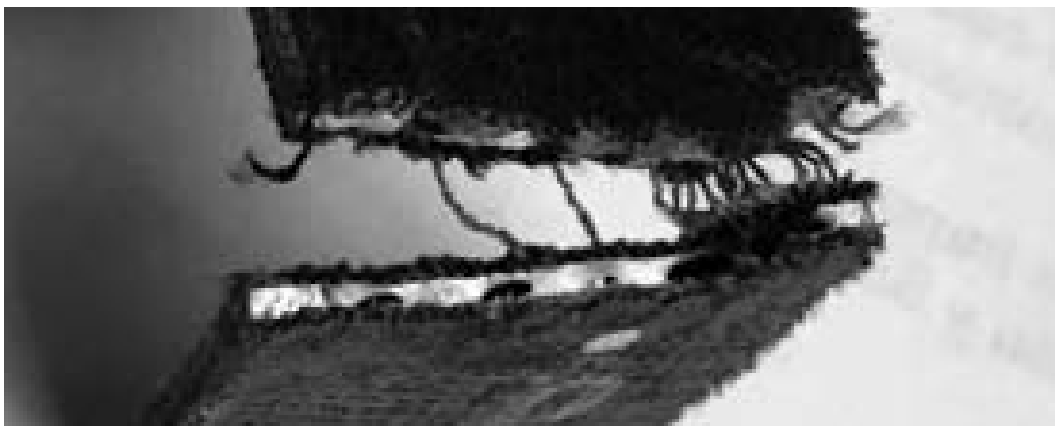


Figura 4. Zona de rotura de una probeta PP/mezclilla ensayada en modo tracción.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se observa que el material compuesto ensayado en modo tracción presenta rotura sin acomodar deformación plástica. Esto indica que la adición de la mezclilla en las caras hace que se presente la fractura frágil en un material, cuya matriz es capaz de deformarse plásticamente antes de romper. Se observa que los valores se encuentran cercanos al valor del material sólido, pero es claro que el porcentaje de deformación disminuye de manera significativa en el material con fibra de mezclilla.

El textil por sí solo presenta desgarrar a desplazamientos muy largos (figura 2). Se observa con claridad que dicho material presenta poca rigidez respecto a los otros compuestos, pero se comienza a desgarrar a tensiones mayores a las tensiones máximas registradas por los materiales combinados.

Conclusiones

En el presente estudio se evaluaron las propiedades mecánicas de los compuestos obtenidos a partir de los residuos de mezclilla como re-

fuerzo de un polímero y se observó que ninguna de las mezclas ensayadas a tracción y flexión de tres puntos sin tratamiento acoplante o compatibilizante funcionó como refuerzo para la matriz polimérica, sino que al contrario, dependiendo de la forma de aplicación del textil, disminuyó sus propiedades mecánicas, mas no de manera significativa. No obstante, estos primeros resultados, es necesario investigar otros materiales con propiedades mecánicas semejantes con el objeto de valorar su aplicación en el desarrollo de productos.

Recomendaciones

Los investigadores interesados en continuar con este tipo de investigación podrían concentrarse en algunos de los siguientes aspectos:

- Utilizar mezclilla pre estirada (hasta un 10% que es cuando el material textil comienza a trabajar);
- Conocer el efecto del tipo de tejido y del porcentaje de elastano de la mezclilla en las propiedades finales del compuesto;

- Determinar las orientaciones principales de las fibras del textil y alinearla en las direcciones principales de la fuerza aplicada
- Conocer el efecto de la orientación de las fibras de mezclilla alternando cruzamientos por capa;
- Conocer el efecto de la utilización de un agente de acoplamiento tanto orgánico como inorgánico con miras a mitigar el efecto negativo en el ambiente.

En el presente estudio las fibras de las distintas capas estaban orientadas en la misma dirección por lo que se sugiere que en futuros estudios de este tipo de material se coloquen de manera cruzada para efectos de evaluar la factibilidad de reducir la anisotropía.

Reconocimientos y agradecimientos

Este trabajo fue financiado a través del Programa de Desarrollo del Profesorado (PRO-DEP), los ensayos de laboratorio se llevaron a cabo dentro de las instalaciones del Centro Catalán del Plástico.

Fuentes de consulta

Ahmad, F., Choi, H. & Park, M. (2014), "A Review: Natural Fiber Composites Selection in View of Mechanical, Light Weight, and Economic Properties", *Macromolecular Materials And Engineering*, 300 (1), 10-24. [En línea] <http://dx.doi.org/10.1002/mame.201400089>

Bodros, E., Pillin, I., Montrelay, N. & C. Baley (2007), "Could biopolymers reinforced by randomly scattered flax fiber be used in structural applications?", *Composites Science and Technology*, vol. 67, Issues 3-4, pp. 462-470.

Conde, M. (2012), Presente y futuro de la industria del Plástico en México, presentación.

Frías, A. C., Lema, I.I. & A. Gavilán (2007). *Situación de los envases plásticos en México*, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, [En línea] <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/422/envases.html>

Foulk, J., Chai W. Y., Akin D. E., Dod, R. B. & P. A. Layton (2006), "Analysis of Flax and Cotton Fiber Fabric Blends and Recycled Polyethylene Composites". *Journal Of Polymers And The Environment*, 14(1), pp. 15-25. doi:10.1007/s10924-005-8703-1.

Haque, M. & A. Sharif (2014), "Processing and Characterization of Waste Denim Fiber Reinforced Polymer Composites", *International Journal of Innovative Science and Modern Engineering*, 2 (6), pp. 24-28.

IHS. (2015), *Chemical Economics Handbook Polypropylene Resins*.

Lee, J. T., Kim, M. W., Song, Y. S., Kang, T. J. & J. R. Youn (2010). "Mechanical Properties of Denim Fabric Reinforced Poly(lactic acid)". *Fibers and Polymers*, January 2010, vol. 11, No.1, pp. 60-66.

Matthews, F.L. y Rawlings R.D. (2003), *Composite Materials: engineering and science*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, ISBN 1 85573 473 7.

Oksman, K., Skrifvars, M. & J. -F Selin (2003), "Natural fibers as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites". *Composites Science and Technology*, July 2003, vol. 63, Issue 9, pp. 1317-1324.

Rosa Sierra, L., González Madariaga, F. and Corona Gutiérrez, P. (2014), "Diseño y desarrollo de productos fabricados a base de residuos de la industria textil". *44 Congreso de Investigación y Desarrollo*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, p.172. [En línea] <http://viewer.zmags.com/publication/6ba5b1ed#/6ba5b1ed/4>, consultado el 12 de febrero de 2015.