

Posibilidades de fabricación con el polietileno aluminio obtenido del reciclaje de envases multicapas

Possibilities of fabrication of aluminium polyethylene obtained from multilayer package recycling

Recibido: 8-10-2013 Aceptado: 14-11-2013

MIGUEL A. HIDALGO-SALAZAR¹

FERNANDO LUIZ NEVES²

EDUARDO BAENA³

Resumen

En el presente artículo se muestra una serie de posibilidades de fabricación con el polietileno aluminio obtenido del proceso de reciclaje de envases multicapas de Tetra Pak, los cuales comenzaron a desarrollarse desde el año 2007, en conjunto con la empresa INNOPACK de Cali y el Grupo de Investigación en Tecnologías para la Manufactura GITEM de la Universidad Autónoma de Occidente, con el apoyo de la gerencia ambiental de Tetra Pak Colombia. Entre otras, se presenta una síntesis de varias posibilidades de separación de los materiales que conforman el polietileno aluminio (LDPE-Al) resultante del proceso de hidropulpado de los envases Tetra Pak reciclados, así como las posibilidades de procesamiento del LDPE-Al realizadas por el GITEM, incluyendo técnicas como: moldeo por compresión en prensa de platos calientes, extrusión, inyección, rotomoldeo, fabricación de compuestos reforzados con fibras naturales y mezclas con otros polímeros y la obtención del LDPE-Al pulverizado. Estos estudios se han hecho con el fin de favorecer principalmente el reciclaje de envases Tetra Pak en grandes volúmenes, especialmente al mostrar las diferentes posibilidades de aplicación de los subproductos del proceso de hidropulpado, se identificaron aspectos relevantes en los procesos de transformación del LDPE-Al. Se ha encontrado, a nivel de laboratorio, que es relativamente sencilla la inclusión del LDPE-Al en diferentes procesos de manufactura, y se resalta que las mejores posibilidades observadas pueden estar en el desarrollo de nuevos materiales compuestos reforzados con fibras naturales, para sustituir productos de madera en diferentes industrias, incluyendo aplicaciones en la industria automotriz. Aunque hoy en día es limitado el volumen de reciclaje en Colombia, se espera que en las próximas décadas mejore la jerarquía de recolección de envases Tetra Pak sobre la gestión de los residuos de origen plástico en el país.

Palabras clave: Reciclaje; Tetra Pak; polietileno aluminio; LDPE-Al; materiales compuestos; LDPE-Al automotriz; LDPE-Al-Fique.

Abstract

This article presents a series of manufacturing possibilities for polyethylene aluminum obtained from the recycling process of Tetra Pak, which began development in 2007, in partnership with the INNOPACK.Ltda. company in Cali

1 Colombiano, Ph.D. Grupo de Investigación en Tecnologías para la Manufactura GITEM, Universidad Autónoma de Occidente, Cali-Colombia. mahidalgo@uao.edu.co.

2 Brasileiro, Ph.D. Gerente Ejecutivo de Desarrollo Ambiental, Tetra Pak Brasil. fernando.neves@tetrapak.com.

3 Colombiano Economista. Gerente General Innopack Ltda., Cali-Colombia. innopack@une.net.co.

and the Technologies for Manufacturing research group (GITEM, for the term in Spanish) at Universidad Autónoma de Occidente, with the support of environmental management at Tetra Pak Colombia. Among others, an overview of various possibilities of separation of the materials that make up the polyethylene aluminum (LDPE-Al) after the hydropulping process resulting from the processing of recycled Tetra Pak packages, as well as the possibilities of application for the LDPE-Al made by the GITEM, including techniques like compression molding in hot-plate press, extrusion, injection molding, rotational molding, fabrication of fiber-reinforced composites, and blends with other polymers and pulverized LDPE-Al. These studies have been mainly conducted to promote the recycling of Tetra Pak in large volumes; especially, to show the different possibilities of application of the sub-products of the hydropulping process; relevant aspects in the LDPE-Al transformation processes were identified. At a laboratory level, it is relatively easy to include LDPE-Al in different manufacturing processes, highlighting that the best possibilities may be seen in the development of new composite materials reinforced with natural fibers to replace wood products in different industries, including automotive applications. Although, currently, the recycling volume in Colombia is limited, it is expected that in coming decades the collection hierarchy of Tetra Pak packages will improve the management of the origin of plastic waste in the country.

Keywords: Recycling; Tetra Pak; polyethylene aluminum; LDPE-Al; composites; LDPE-Al automotive; LDPE-Al-Fique.

Introducción

Los envases larga vida son un sistema de empaque de bebidas y alimentos líquidos ampliamente utilizado en todo el mundo como material de envasado aséptico, el cual permite que productos considerados perecederos sean distribuidos y almacenados sin refrigeración por períodos de hasta seis meses o más. En un solo año Tetra Pak produce más de 137 mil millones de empaques, los cuales se reparten en todos los países del mundo (www.tetrapak.com). Hoy en día, su utilización y comercialización generan una gran cantidad de residuos. Con el propósito de reutilizar los materiales que lo conforman, desde hace varios años se vienen desarrollando propuestas para su reciclaje a nivel mundial, de gran interés desde el punto de vista económico y ambiental.

Los envases multicapas se componen de tres materias primas: cartón (75%), aluminio (aproximadamente el 5%) y polietileno de baja densidad (aproximadamente el 20%). En la Figura 1 se pueden apreciar las diferentes capas y su aplicación dentro del envase.

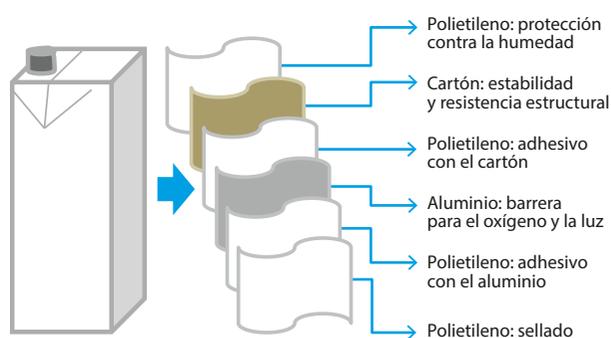


Figura 1. Materiales que componen la estructura de un envase multicapa.

Los envases asépticos, junto con envases de cartón para leche y jugo se reciclan mediante un proceso denominado hidropulpa. En éste, las capas de plástico y aluminio se separan mecánicamente del cartón en un pulper para obtener fibras de celulosa de alta calidad que se utilizan en la producción de productos de papel y cartón. En la Figura 2 se puede observar el proceso de separación mecánica (Atilla *et al.*, 2007; Neves, 1999; Korkmaz, 2009).



Figura 2. Proceso de separación mecánica por despulpado de envases reciclados multicapas.

Fuente: Tetra Pak Colombia, gerencia ambiental año 2008 (adaptada).

En los últimos años, Tetra Pak, en cooperación intensa con su cadena de suministro, incrementó el reciclaje pos-consumo de los envases de leche larga vida. Un estudio realizado por la empresa presentó una reducción del consumo de recursos naturales, emisiones de aire y la mayoría de las emisiones de agua; se aplicó la metodología del ciclo de vida (ACV) para medir el potencial del calentamiento global (PCA). El sistema fue evaluado utilizando como

unidad funcional 1000 litros de leche, envasada en contenedores asépticos Tetra Pak. La reducción de emisiones de gases de invernadero fue calculada en unos índices de reciclaje del 2%, 22%, 30%, 40% y el 70% de los residuos posconsumo en los escenarios I (sólo cartón reciclado) y II (total aséptico laminado reciclado). El escenario I mostró una reducción del 14% en el PCA, lo que representa 26 kg de CO₂ dejados de emitir, gracias a los esfuerzos de Tetra Pak para aumentar el índice de reciclaje del 2% (2000) al 22% (2004). Si fuese posible incrementar el índice de reciclaje al 70% de los empaques posconsumo en el futuro, se podría alcanzar una reducción del 48% del calentamiento global. La reducción total de las necesidades de energía del sistema es 154 MJ/1000 de litros, un ahorro de 7%, y se debe al aumento de la tasa de reciclaje (del 2% al 22%). El Escenario II (el cual se considera adicional del reciclaje del polietileno y el aluminio) tiene un menor efecto sobre la reducción de PCA que el Escenario I, puesto que el LDPE-Al representa sólo el 25% de la masa total del contenedor. Los principales beneficios del reciclaje de envases de cartón asépticos son la reducción de las cantidades de materiales vírgenes y la consecuente reducción de las emisiones de aire (Atilla *et al.*, 2007; Neves, 1999; Anna *et al.*, 2007).

Se encontró que en varios países, incluido Colombia, se está trabajando en la extracción de la pulpa de papel contenida en los envases multicapas mediante el hidropulpado, del cual se obtiene pulpa como producto final y un residuo conformado por el polietileno y el aluminio contenidos en el envase; esta fracción de LDPE-Al, que representa aproximadamente el 25% del material reciclado, se puede utilizar como materia prima para diferentes procesos de transformación de plástico, tales como: extrusión, moldeo por compresión, fabricación de materiales compuestos, mezclas con otros polímeros, rotomoldeo e inyección de plásticos (Neves, 1999; Cerqueira, 2003).

La fracción de polietileno aluminio contenida en el LDPE-Al resulta atractiva para muchos empresarios cuando se recuperan grandes cantidades de este material; en este sentido, a nivel mundial se viene trabajando en diferentes procesos para separar el aluminio del polietileno y de este modo recuperar el aluminio; entre esos procesos están: El uso del plasma térmico: los residuos de envases multicapas son una valiosa fuente de productos químicos. Alcoa Aluminio, en una empresa conjunta con Tetra Pak, Klabin y TSL Ambiental, puso en marcha su nueva planta de reciclaje en Brasil, en mayo de 2005. Es la primera planta en el mundo que puede separar los componentes aluminio y plástico utilizados en envases de cartón mediante la tecnología de plasma, la cual utiliza energía eléctrica para producir un chorro de plasma a 15.000 °C. El calor ioniza la mezcla de

plástico y aluminio y da como resultado la transformación del plástico en parafina, y el aluminio es recuperado en su forma pura (www.tetrapak.com).

La incineración: en Alemania, el polietileno y el aluminio son utilizados como catalizadores para hornos de cemento. La mezcla de polímeros y aluminio es ingresada a los hornos como una alternativa de combustible, generalmente reemplazando al carbón. El proceso de generación de energía oxida el aluminio. El óxido del aluminio es también el resultado de calentar la bauxita, un componente necesario en la fabricación de cemento. Esta operación significa un ahorro en otras materias primas (www.tetrapak.com).

En España se vienen desarrollando dos nuevas tecnologías para recuperar el polietileno y el aluminio. Por un lado, un sistema de reciclado mecánico en el que estos materiales se transforman en granza, y sirven como materia prima para producir artículos plásticos como palés, cepillos...etc. Por otro lado, mediante la tecnología de pirólisis se separan estos materiales, recuperando el aluminio con gran calidad y obteniendo energía del polietileno (Korkmaz, 2009; Lopes and Felisberti, 2006).

En Brasil se han creado equipos para limpiar el polietileno y el aluminio del proceso de reciclado. Estos equipos permiten una mayor efectividad en la recuperación de fibras y al mismo tiempo proveen granulados de mayor calidad para moldeo de inyección. Las propiedades combinadas de los polímeros y del aluminio permiten la obtención de láminas para la producción de tejas de bajo costo para viviendas. En Colombia se ha implementado el proceso de fabricación de aglomerados usando los residuos de polietileno y aluminio recuperados del proceso de hidropulpado. Mediante la trituración y posterior compresión en caliente y en frío de estos residuos, se fabrican tejas termo-acústicas y láminas (que además son de bajo peso y de alta resistencia mecánica) con múltiples aplicaciones en la elaboración de muebles y la construcción. Desde el año 2007, el Grupo de Investigación en Tecnologías para la Manufactura - GITEM, por iniciativa de la empresa Innopack, de Cali, y Tetra Pak Colombia, está estudiando el LDPE-Al con el propósito de comprender el comportamiento mecánico, las posibilidades de fabricación de compuestos, las mezclas con otros polímeros y los diferentes procesos de transformación, entre los que están: moldeo por compresión, extrusión, inyección y rotomoldeo. Estudiar el procesamiento del LDPE-Al en el laboratorio ha permitido observar posibilidades para optimizar el proceso de aglomerado del LDPE-Al, el desarrollo de materiales compuestos que utilizan el LDPE-Al con fibras cortas de fique para la producción de compuestos de fibras naturales, donde se obtuvo buen desempeño mecánico de este nuevo material, especialmente útil para la producción de empaques de

cables y similares (Cerqueira, 2003; Lopes and Felisberti, 2006; Neves and Zuben, 2006). Además de los compuestos, en asocio con la empresa Innopack, se están estudiando y desarrollando equipos especializados que permiten obtener el LDPE-Al más limpio, con un mínimo consumo de agua y energía, lo que lo hace más económico y ambientalmente viable, y podría convertirse en un punto muy importante de desarrollo para la cadena de reciclaje, especialmente para motivar a empresarios a reciclar, teniendo en cuenta que el factor costo es primordial a la hora de comprar el material recolectado para posteriormente ser transformado; en síntesis, se propende por que los procesos resulten más económicos y ambientalmente amigables.

Procesos de transformación del LDPE-Al

A nivel mundial, el reciclaje de polímeros se justifica por razones económicas y ambientales; los altos costos de las materias primas resultan desfavorables para algunos productos, lo cual torna atractivo para los empresarios usar recursos procedentes de procesos de reciclaje previos, como es el caso del hidropulpado de envases multicapas. El componente ambiental es aún más importante, sin embargo, es incipiente el porcentaje de reciclaje de polímeros en Colombia y en muchos países (Hidalgo, 2011).

Para el grupo GITEM, es de interés investigar la recuperación y utilización de la fracción LDPE-Al contenida en envases multicapas, especialmente porque INNOPACK y la gerencia ambiental de Tetra Pak, en el año 2007, vieron la posibilidad de sustituir la madera en algunas aplicaciones por la fracción del LDPE-Al reciclado, convirtiéndolo en láminas y placas de diferentes espesores (entre 3 mm y 25 mm), utilizando el material reciclado de origen posconsumo y posindustrial, el cual hoy en día es reconvertido en tableros similares a los aglomerados de madera; esto llevó a estudiar la utilización del material reciclado de envases multicapas que se consume en Colombia, cuyos residuos, una vez consumido el producto, podrían ser aprovechados con los propósitos antes enunciados. La tendencia mundial en materia de envases para líquidos es la sustitución del vidrio y del acero por materiales laminados o multicapas (Tetra Pak) que por su diseño permiten una más larga vida del producto en ellos envasado y una mayor eficiencia en su transporte. Lo anterior permite observar un panorama de incremento en el consumo de envases multicapas (Hidalgo, Moya, Baena, 2010; Cerqueira and Agnelli, 2007).

Para todos los procesos de transformación con el LDPE-Al, uno de los aspectos más importantes es la limpieza del material. Por lo general, este proceso requiere consumir aún más agua que la utilizada en el hidropulper, además de necesitar centrifugado, picado y secado, lo cual origina un gasto extra para el producto y podría dificultar la motivación para reciclar a todo nivel. Sin embargo, para subsanar la problemática se están llevando a cabo investigaciones en varios países como Brasil, España, Alemania, entre otros; el caso del GITEM-Colombia también ha aportado al proceso, mediante observaciones con la empresa INNOPACK, de Cali, donde se llevaron a cabo experimentos a modo de planta piloto, y se pudo apreciar que es posible reducir costos para tratar el material de manera similar a como se viene desarrollando en otros países, pero realizando algunas modificaciones al proceso, especialmente conducentes al ahorro de agua, energía y tiempo de proceso (para no perder la motivación del reciclaje, los procesos deben ser óptimos, y los costos de reciclaje deben ser mínimos y estar lejanos de los iniciales), sin disminuir la calidad del producto, resaltando que se debe hacer a un menor costo, incluso optimizando el consumo de agua, lo cual se puede lograr si se incluyen algunos equipos adicionales diseñados específicamente para la recuperación del LDPE-Al, puesto que no hay equipos comerciales especializados para este propósito; hay que experimentar y adaptar. En teoría, siempre se busca transformar muchas más toneladas, las cuales pueden ser incorporadas a los diferentes procesos de transformación de polímeros o separación del LDPE-Al, tal como los que se presentan más adelante (Hidalgo, Muñoz and Quintana, 2007).

Proceso de moldeo por compresión del LDPE-Al

Para el moldeo por compresión para la producción de tableros, se elabora un colchón de LDPE-Al picado a un tamaño adecuado, y se utiliza un papel para desmoldar; seguidamente, el colchón preformado es sometido a compresión en una prensa de platos calientes, con la posibilidad de darle posteriormente formas a las placas calientes mediante moldes, como es el caso de tejas u otros productos similares. El GITEM trabajó con una prensa de platos calientes del fabricante Fontijne Grotnes Lab-Pro400, controlada por computador, con una capacidad para trabajar hasta 300 °C (+4/-4 °C, 10 °C/min) y 400 KN, un área de 320 mm x 320 mm. Este proceso se puede observar en la Figura 3.



Figura 3. Proceso de moldeo por compresión del LDPE-Al. Laboratorios de la Universidad Autónoma de Occidente, GITEM (2007)

Este estudio demostró la viabilidad del uso de LDPE-Al reciclado de envases multicapas para la fabricación de tableros rígidos utilizando una prensa de platos calientes. Se observa que los compuestos de LDPE-Al se vieron afectados significativamente por el efecto de la presión de compactación durante el procesamiento, especialmente en resistencia a la tracción y

absorción de agua, además de la calidad de la materia prima utilizada para su fabricación. Los tableros presentaron baja absorción de agua y mejoraron la resistencia a la tracción, prácticamente independiente del tamaño de partícula utilizada (Hidalgo, 2011). En la Figura 4 se pueden observar algunos productos factibles de desarrollar por este método.



Figura 4. a) Teja termoacústica; b) tableros de diferentes espesores; c) productos mecanizados; d) tapas de alta resistencia; e) carretes para empaque de cables. Productos desarrollados en cooperación con INNOPACK, de Cali y el GITEM (2007)

En la Figura 5 se pueden observar algunas pruebas comparativas realizadas al producto original en madera y al fabricado con LDPE-Al en condiciones de trabajo similares. Los resultados se consideran muy favorables para los productos de LDPE-Al, y muestran posibilidades de sustitución, especialmente si el peso del producto no es un requerimiento importante.



Figura 5. Pruebas mecánicas cualitativas de productos de LDPE-AL. Laboratorios de la Universidad Autónoma de Occidente, GITEM (2008)

Proceso de extrusión del LDPE-Al

Típicamente, el proceso de extrusión requiere previamente del proceso termomecánico de aglutinación en el que –después de ser picado y lavado– el LDPE-Al es sometido a un choque térmico para incrementar su densidad de empaque, lo que le permite ser extruido posteriormente.

Este proceso requiere de una limpieza adicional para retirar los residuos de fibra que quedan adheridos a la película de LDPE-Al después del hidropulpado; el anterior aspecto convierte al LDPE-Al en una película atípica para reciclar. Es de resaltar que el proceso de reducción de tamaño observado por el GITEM, en teoría podría eliminar en gran parte el proceso termomecánico de aglutinación, y de esta manera reducir el ciclo y mejorar la productividad. En la Figura 6 se puede observar el proceso de extrusión del LDPE-Al realizado por el GITEM en un equipo desarrollado con estudiantes de la Universidad Autónoma de Occidente.

Además, la experimentación mostró la posibilidad de realizar mezclas entre el LDPE-Al y otros polímeros comúnmente reciclados, como es el caso del polipropileno y polietilenos de otras fuentes. Es así como fue posible observar un crecimiento en la resistencia mecánica original del LDPE-Al mezclándolo con polipropileno; sin embargo, se pudo apreciar que en espesores menores de 3 mm, las placas tienden a sufrir alabeos, es decir, se dificulta controlar las contracciones que se puedan presentar por las características de miscibilidad de cada uno de los polímeros, las cuales podrían obstaculizar algunos escenarios de aplicación a estas escalas. Por consiguiente, se presume la presencia de mejores respuestas en perfiles de mayor espesor, donde podría resultar más simple controlar la cinemática de enfriamiento del material. Estos efectos se reducen cuando la mezcla es menos rica en LDPE-Al, si la base no es un polietileno reciclado.

Proceso de inyección del LDPE-Al

Generalmente el proceso de inyección con materiales reciclados requiere de pellets fabricados previamente por extrusión, los cuales posteriormente son fundidos e inyectados.



Figura 6. Proceso de extrusión del LDPE-AL. Laboratorios de la Universidad Autónoma de Occidente, GITEM (2009)

Las observaciones del GITEM mostraron que con base en la reducción de tamaño de la partícula de material conseguido en laboratorio, es posible observar que el rendimiento del material sin pasar previamente por la extrusora prácticamente se mantiene, el ciclo no se afecta significativamente, lo que genera una reducción de costos de producción y menor pérdida de propiedades mecánicas.



Figura 7. Probetas inyectadas de LDPE-Al para ensayo de tensión, en una Inyectora Boy. Laboratorios de la Universidad de Wisconsin en Madison (2011)

Además de inyectar el LDPE-Al solo, fue posible inyectarlo mezclado con polipropileno, fibras de madera y fique a tamaños y mezclas controladas, generando posibilidades de aplicación para diferentes productos inyectados, incluso pigmentando el polietileno contenido en el LDPE-Al, como se observa en la Figura 7.

Proceso de rotomoldeo del LDPE-Al

El rotomoldeo es el proceso de conformado de productos plásticos, el cual requiere que el material esté preferiblemente en polvo dentro de un molde que se hace girar sobre dos ejes perpendiculares entre sí, a velocidad y temperatura controladas, logrando de este modo que el material se adhiera a la superficie del molde, para crear piezas huecas, como se observa en la Figura 8. En este sentido se resaltan las posibilidades de utilización del LDPE-Al en este proceso, pues tiene potencial para fabricar piezas huecas de gran tamaño que consumirían en teoría mucho material, en consecuencia, se espera una motivación aún mayor hacia el reciclaje de los envases multicapas.

Para obtener polvos de LDPE-Al es necesario utilizar pulverizadores de polímeros, posterior al proceso de reducción de tamaño mencionado anteriormente. En la Figura 9 se observa la pulverización del LDPE-Al realizada por el GITEM, en los laboratorios de la Universidad Autónoma de Occidente.

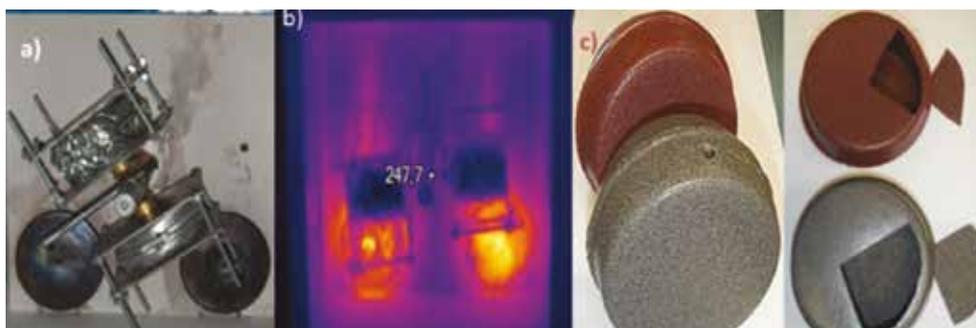


Figura 8. Proceso de rotomoldeo del LDPE-Al: a) equipo de rotomoldeo (cilindro), b) distribución de temperatura de los moldes durante el proceso, c) cilindro rotomoldeado y polvo de LDPE-Al. Laboratorios de la Universidad Autónoma de Occidente, GITEM



Figura 9. Proceso de pulverización del LDPE-Al: a) pulverizador criogénico con control de temperatura. Laboratorios de la Universidad Autónoma de Occidente, GITEM (2011)

Fabricación de compuestos con el LDPE-Al

Quizá las mejores posibilidades de utilización en grandes volúmenes del LDPE-Al están en la fabricación de materiales compuestos por fibras naturales, como la madera y el fique, para el caso de Colombia.

Los materiales compuestos de matriz termoplástica responden principalmente a la necesidad de mejorar las prestaciones mecánicas (resistencia y rigidez), además de obtener beneficio en la disminución de la densidad, lo cual hace posible lograr productos más livianos y resistentes (Hidalgo, Muñoz, and Quintana, 2011; Acha, Reboredo and Marcovich, 2007; Bledzki and Faruk, 2004; Marcovich and Villar, 2003). Dentro de los procesos de corte y manufactura de diversos materiales celulósicos se producen diferentes residuos de las fibras, los cuales pueden ser aprovechados como fibras cortas para la producción de compuestos, ya que poseen buenas propiedades físicas y mecánicas. Estas fibras naturales le proporcionan a los compuestos de matriz

polimérica un grado de biodegradabilidad, y al mismo tiempo, al estar reforzados con fibras naturales, presentan varias dificultades causadas principalmente por la poca compatibilidad entre las fases, y a la naturaleza hidrofílica de las fibras y las características hidrofóbicas de la matriz, siendo ésta una de las razones que han motivado investigaciones en las que se estudia la influencia de algunos tratamientos (alcalinización, incorporación de agentes de acoplamiento, preimpregnación) de las fibras, con el fin de mejorar la calidad de la interfaz con la matriz, y lograr así procesarlas con un mejor comportamiento mecánico (Park and Balatinecz, 1998; Xu, *et al.*, 2010; Valadez, 1999). En las últimas dos décadas se han implementado varios resultados de investigaciones, especialmente en la industria automotriz, reemplazando a varios productos fabricados con compuestos cien por ciento sintéticos y algunos polímeros de ingeniería. A continuación en la Tabla 1 se observan algunos casos:

Tabla 1. Estudios de reducción de peso en componentes de autos con polímeros reforzados con fibras naturales

Componente	Estudio	Fibra y Matriz	Componente base
Auto panel lateral	Wotzel <i>et al.</i> (1999)	820 g (cáñamo-epoxy)	1125 g (ABS)
Auto de aislamiento	Schmidt and Meyer (1998)	2.6 kg (cáñamo-PP)	3.5 kg (GF-PP)
El transporte de carga.	Corbiere <i>et al.</i> (2001)	11.77 kg (China Caña – PP)	15 kg (GF – PP)

En particular, en la industria automotriz se conoce que las siguientes marcas comerciales utilizan compuestos de fibras naturales:

- Volkswagen: parte posterior de los asientos, paneles de puertas, paneles de tronco (Golf, Passat, Variant, Bora, Fox, Polo).
- Audi: parte posterior de los asientos, paneles laterales que cubren el tronco, los titulares de los altavoces (A2, A4 Avant, A6 y A6 Avant, A8).
- BMW: paneles de las puertas, cabezas de cartel, piso del maletero (Serie 3, 5 y 7).
- DaimlerChrysler: paneles de las puertas, mesas de negocios, padding-pilares de refuerzo, las piezas del tablero (de clase A, E y S).
- Peugeot: parte posterior de los asientos, revestimientos de tronco (406-607).
- Renault: bandeja trasera (Clio, Twingo).
- Mercedes Benz camiones: secciones delanteras de los camiones.

Recientemente también se han observado trabajos aún más novedosos que incluyen partes más complejas de los automóviles, es el caso de los ecodiseños que utilizan el yute para la fabricación de piezas que típicamente se elaboraban con láminas metálicas, como el

capó de un vehículo (Houshya, Shanks and Hodzic, 2005; Alves *et al.*, 2010).

Todo el contexto anterior se suma a muchos otros ejemplos que indican que el mundo enfrenta desafíos sin precedentes en sus dimensiones sociales, ambientales y económicas, en las que el diseño industrial ha mostrado una importante contribución con soluciones que proporcionan respuestas positivas con respecto a estos problemas. Dada su importancia, la industria del automóvil y la de los embalajes, tal como se mencionó anteriormente, son un buen ejemplo a seguir, incluso en momentos de crisis. Hoy en día el desarrollo de nuevos productos se basa en el diseño ecológico, es decir, la transformación de los desafíos en oportunidades. En resumen, el uso de materiales compuestos de fibra natural toma una importancia en el desarrollo de cada país, y cuando se decide implementar estos nuevos materiales en los nuevos productos, se presenta una serie de ventajas sociales, ambientales y económicas. En este sentido, en el 2008, el GITEM inició la tarea de aprovechar los alcances de procesamiento del LDPE-Al, y evaluar la posibilidad de fabricar compuestos para ser incluidos en el proceso de transformación del polietileno antes mencionado (Hidalgo, Muñoz and Autonomía, 2012). Se vienen adelantando trabajos relacionados

con el uso del LDPE-Al como matriz y fibras de fique como refuerzo, en los cuales se han observado cambios significativos en el comportamiento mecánico a toda escala, de este modo se obtuvieron compuestos con amplias posibilidades de sustituir la madera para la fabricación de carretes para empaques de cables, y utilizar este mismo procedimiento para desarrollar autopartes; además fue posible observar el material inyectado y extruido con fibras de fique y madera, con los tamaños y condiciones adecuados (Hidalgo, Muñoz and Quintana, 2012; Hidalgo, 2012).

Conclusiones

Los resultados presentados en este artículo indican que para la mayoría de los escenarios de transformación del LDPE-Al es favorable su aplicación al desarrollo de diferentes productos o la sustitución de materiales. Se mostró que el reciclado mecánico es por lo general una opción de tratamiento ideal. Es evidente y relevante el impacto ambiental y económico que puede llegar a tener la aplicación del LDPE-Al en el desarrollo de productos, su potencial aplicación así lo demuestra. Sin embargo, aún existe un grado de incertidumbre en cuanto al reciclaje en Colombia, especialmente por adolecer de una jerarquía en la recolección de envases multicapas en Colombia. El liderazgo en los programas de reciclaje es realmente la clave del éxito en el desarrollo de todas las posibilidades presentadas sobre el LDPE-Al; los costos ambientales y económicos son mayores cada vez que estos programas de recolección no son exitosos. El reciclaje a gran escala autorregulada favorece los impactos ambientales y al mismo tiempo se convierte en una buena fuente de empleo para las regiones que lo acogen; en ese sentido, la investigación articulada a la tecnología moderna también debe ser considerada como una estrategia principal de gestión integrada de los residuos en los programas de reciclaje.

Agradecimientos

El Grupo de Investigación en Tecnologías para la Manufactura - GITEM agradece el apoyo incondicional de la Facultad de Ingeniería y la Dirección de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico de la Universidad Autónoma de Occidente, al empresario Eduardo Baena Lorza, gerente de la empresa Innopack, de Cali, y a los señores Juan Carlos Moya y Fernando Ríos, de Tetra Pak Colombia, por su motivación y favorecimiento de las actividades investigativas relacionadas con el reciclaje de los envases multicapas.

Referencias

- ACHA, B.A. REBOREDO, M.M. and MARCOVICH, N.E. Creep and dynamic mechanical behavior of PP-jute composites: effect of the interfacial adhesion. *En: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. Vol. 38 (2007); pp. 1507-1516.
- ALVES, C. FERRAO, P.M.C. SILVA, A.J. REIS, L.G. FREITAS, M. RODRIGUES, L.B. and ALVES, D.E. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *En: Journal of Cleaner Production*. Vol. 18 (2010); pp. 313-327.
- ANNA, L.M.; ELOISA, E.C.; GARCÍA, G.B.V. and F. V Z. Influence of recycling rate increase of aseptic carton for lo LOPES, C.M.A. and FELISBERTI, M.I. Composite of low-density polyethylene and aluminum obtained from the recycling of postconsumer aseptic packaging. *En: Journal of Applied Polymeric Science*. Vol. 101, 2006; p.3183-3191ng-life milk on GWP reduction. *Resour, Conserv and Recycl*. Vol. 52 (2007); pp. 678-689.
- ATILLA, M.; AYSE SELEK, M.; METIN G. and MUZAFFER B. Manufacturing low density boards from waste cardboard-containing aluminium. *En: Materials and Design*. Vol. 28 (2007); p 2215-2217
- BLEDZKI, A.K. and FARUK, O. Creep and impact properties of wood fibre-polypropylene composites: influence of temperature and moisture content. *En: Composites Science and Technology*. Vol. 64 (2004); pp. 693-700.
- CERQUEIRA, M. Placas e Telhas produzidas a partir de Polietileno / Alumínio presentes nas embalagens Tetra Pak. *Coletânea de Artigos Técnicos*, 2003.
- CERQUEIRA, M.H. and AGNELLI, J.A.M. Processing of the composite LDPE/Al from carton packages and its modifications with wood fibers. *Society of Plastics Engineers - Global Plastics Environmental Conference, GPEC Environmental Innovation: Plastics Recycling and Sustainability*. 2007. pp. 566-609.
- CORBIERE-NICOLLIER, T. B., GFELLER LABAN, L., LUNDQUIST, Y., LETERRIER, Y., MANSON J. A. E., and JOLLIET, O. Life cycle assessment of biofibres replacing glass fibres as reinforcement in plastics. *Resources, Conservation and Recycling* 33: 267:287. 2001.
- HIDALGO, M.A. Manufacturing rigid board by packaging waste containing aluminum and polyethylene. *En: Journal of Scientific and Industrial Research*. Vol. 70. No. 3 (2011), pp. 232-234.
- HIDALGO, M.A.; MOYA, J.C.; BAENA, E. Processing of LDPE/AL composite from recycled carton packages and evolution of mechanical properties. *Proc GPEC SPE's 2010-Global Plastics Environmental Conference (Orlando-USA)*. 2010.
- HIDALGO, M.A.; MUÑOZ, M.F. and QUINTANA, K. Mechanical behavior of polyethylene aluminum composite reinforced with continuous agro fique fibers. *En: Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. Vol. 31 No. 2 (2011); pp. 187-194.

- HIDALGO, M.A.; MUÑOZ, M.F. and QUINTANA, F. Mechanical analysis of polyethylene aluminum composite reinforced with short fique fibers available in two-dimensional arrangement. *En: Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. Vol. 32 No. 1 (2012); pp. 89-95.
- HIDALGO, M.A.; MUÑOZ, M.F.; MINA, J. and OSWALD, T. Study of the interfacial properties of fique fiber reinforced polyethylene aluminium. Annual Technical Conference-ANTEC. *En: Conference Proceedings*. Vol. 1 (2012); pp. 575-580.
- HIDALGO-SALAZAR, M.A.; MINA, J. H. and HERRERA, F. The effect of interfacial adhesion on the creep behaviour of LDPE-Al-Fique composite materials. *En: Composites Part B: Engineering*. Vol. 55 (2013); p. 345-351.
- HOUSHYA, S. SHANKS, R.A. and HODZIC, A. Tensile creep behaviour of polypropylene fibre reinforced polypropylene composites. *En: Polymer Testing*. Vol. 24 (2005); pp. 257-264.
- KORKMAZ, J.; YANIK, M.; BREBU, C.; VASILE. Pyrolysis of the Tetra Pak. *En: Waste Management*. Vol. 29. No. 11 (2009); pp. 2836-2841.
- MARCOVICH, N.E. AND VILLAR, M.A. Thermal and mechanical characterization of linear low density polyethylene/wood flour composites. *En: Journal of Applied Polymer Science*. Vol. 90 (2003); pp. 2775-2784.
- NEVES, F.L. Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak. *O Papel* fev. 1999. pp. 38-45.
- NEVES, F.L. and ZUBEN, F.J. Recycling of aluminum and polyethylene from Tetra Pak carton packages as plastic composite. Proc GPEC 2003- Global Plastics Environm Concil-fev (Detroit – USA), 2003. p 371-378.
- PARK, B. and BALATINECZ, J. Short term flexural creep behavior of wood-fiber/polypropylene composites". *En: Polymer Composites*. Vol. 19 (1998); pp. 377-382.
- SCHMIDT, W.P. and BAYER, H. M. Life Cycle Study on a Natural Fibre Reinforced Component. SAE Technical Paper Series 982195, presented at Total Life Cycle Conference and Exposition Graz, Austria, December 1-3, 1998.
- VALADEZ, A.; CERVANTES, J.M.; OLAYO, R. and HERRERA, P. Chemical modification of henequén fibers with an organosilane coupling agent. *Composites: Part B*. 30 (1999); pp. 321-331.
- WOTZEL, K., WIRTH, R. and FLAKE, M. Life cycle studies on hemp fibre reinforced components and ABS for automotive parts. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie* 272:121-127. 1999a.
- XU, Y. WU, Q. LEI, Y. and YAO, F. Creep behavior of bagasse fiber reinforced polymer composites. *En: Bioresource Technology*. Vol. 101 (2010); pp. 3280-3286.