

II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

UTILIZACIÓN DE LA FRACCIÓN DE POLIETILENO ALUMINIO RESULTANTE DEL RECICLADO DE ENVASES TETRA PAK

Moya J.C¹, Baena E², Hidalgo M.A³

¹ *Manager of Environmental and Social Management, Tetra Pak, Bogota-Colombia.
World Trade Center, Calle 100 No 8A-55, Telephone (57 1), 83660,
juancarlos.moya@tetrapak.com.co*

² *INNOPAK, Cali-Colombia, Calle 13 No 35A-60 Arroyohondo Yumbo, Cali
Colombia*

Teléfono (57 2) 6900260, rsi@telesat.com.co

³ *Universidad Autónoma de Occidente, GiTeM, Campus Valle del Lili, Km 2 vía a
Jamundí, Cali- Colombia, mahidalgo@uao.edu.co*

RESUMEN

El presente artículo muestra los resultados obtenidos de estudios desarrollados por diferentes investigadores, en diferentes países, incluyendo Colombia, en la separación y utilización de los materiales que constituyen los envases de Tetra Pak. Incluye las posibilidades de conseguir la separación total de los materiales que conforman los envases de Tetra Pak que se utilizan ampliamente a nivel mundial como un material aséptico de envasado de bebidas. El reciclaje de los envases de Tetra Pak compuestos de papel, polietileno de baja densidad (LDPE) y aluminio tiene una gran importancia en el reciclado a nivel mundial. La recuperación de papel, el principal componente, se lleva a cabo a través de un equipo de hidropulpa; la fracción restante de polietileno y aluminio, que queda adherida formando un compuesto de aproximadamente 20% de aluminio y 80% de polietileno, tiene alternativas tales como: la incineración, la pirólisis, el plasma térmico, la separación por medios químicos húmedos, y su utilización como un material compuesto para la fabricación de diferentes productos, como la madera plástica de gama alta, tableros rígidos y materiales compuestos que utilicen el LDPE-Al como matriz, al igual que fibras naturales y/o sintéticas como refuerzo.

Palabras claves:

Aluminio, fique, LDPE- Al, pirólisis, reciclaje, Tetra Pak.

INTRODUCCIÓN

Tetra Pak es un sistema de empaque de bebidas y alimentos líquidos ampliamente usados en todo el mundo como material de envasado aséptico. Éste, permite que los productos que se consideran perecederos sean distribuidos y almacenados sin refrigeración por períodos de hasta seis meses o más, incluso para los alimentos delicados como la leche, la soya, bebidas, jugos y néctares. Tetra Pak en un solo año, produce más de 137 mil millones de empaques de Tetra Pak los cuales se entregan en todos los rincones del mundo (www.tetrapak.com). Debido a esto, la cantidad de residuos de empaques de Tetra Pak está continuamente en aumento en botaderos

II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

municipales. Por ello, la conversión de residuos de empaques de Tetra Pak en otros valiosos productos es importante desde el punto de vista económico y ambiental.

Los envases de Tetra Pak se componen de tres materias primas: dúplex de papel (75%), aluminio (alrededor del 5%) y polietileno de baja densidad (alrededor del 20%). Los envases asépticos, junto con envases de cartón para leche y jugo se reciclan a través de un proceso simple, un proceso bien establecido llamado hidropulpado. En este proceso, las capas delgadas de plástico y el aluminio son separados de las fibras de celulosa en un hydropulper, obteniendo fibras de alta calidad que se utilizan en la producción de productos de papel.

El uso del plasma térmico: Los residuos de envases de Tetra Pak son una valiosa fuente de productos químicos. Alcoa Aluminio, es 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 de papel, aluminio y plástico utilizados en envases de cartón mediante la tecnología de plasma. Ésta 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 deja al aluminio oxidado. 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, están en fase de desarrollo, 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 productos 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 (www.tetrapak.com).

En Brasil, se han patentado equipos para limpiar el polietileno y el aluminio del proceso de reciclado del papel. 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 de aglomerado para la producción de material de bajo costo para viviendas. En Colombia, se ha implementado el proceso de fabricación de aglomerados usando los residuos tanto del polietileno como del aluminio, recuperados del proceso de repulpeado. Mediante la trituración y posterior

II CONFERENCIA INTERNACIONAL

'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

compresión en caliente, al igual que en frío de estos residuos, sin la adición de resinas o agentes aglomerantes adicionales, se fabrican láminas y tejas termo-acústicas (que además son de bajo peso y de alta resistencia mecánica), con múltiples aplicaciones en las industrias de fabricación de muebles y de la construcción. La aplicación más reciente la viene realizando el Grupo de investigación en Tecnología para la Manufactura GiTeM, de la Universidad Autónoma de Occidente de Cali, Colombia, en la cual se ha logrado optimizar el proceso de aglomerado del LDPE-Al y se está investigando en el desarrollo de materiales compuestos que utilizan el LDPE-Al, con fibras cortas de fique para la producción de compuestos de fibras naturales de alto desempeño mecánico, útiles para la producción de empaques de cables y similares (Hidalgo 2010 et al).

SEPARACIÓN POR PIRÓLISIS

Los experimentos de pirólisis se han llevado a cabo en atmósfera inerte en un reactor discontinuo, a diferentes temperaturas y por distintos modos de pirólisis (de uno y de dos pasos). Las producciones de carbonizados (Char), líquido y gases fueron cuantificados. Los líquidos de pirólisis se recogieron en tres fases separadas, la fase acuosa, alquitrán y la cera de polietileno. La caracterización de la cera y la determinación de la cantidad total de fenoles en fase acuosa se llevaron a cabo. El aluminio puro puede también ser recuperado por pirólisis (Ahmet Korkmaz et al., 2009).

La pirólisis puede ser una de las rutas alternativas para el tratamiento de los residuos de envases de Tetra Pak. La pirólisis se ha aplicado ampliamente en desechos orgánicos como los desechos agrícolas, de neumáticos, lodos de aguas residuales y residuos de plásticos. En el proceso de pirólisis, el material orgánico se calienta en una atmósfera inerte. Los productos de la pirólisis son gas, aceite y residuos carbonosos. El gas puede ser utilizado como combustible, con frecuencia para calentar el reactor de pirólisis y el aceite puede ser utilizado como combustible o como materia prima para la producción de diferentes productos químicos. El residuo de carbono puede ser quemado como combustible o eliminarse de manera segura, ya que los metales pesados se fijan en la matriz de carbón. Además, este residuo es apto también para la producción de carbón activado. La información está disponible en los productos de la pirólisis de varios materiales lignocelulósicos y polímeros sintéticos (Hernandez et al., 2007; Hu and Li, 2007).

Es bien sabido que los polímeros poliolefínicos como el polietileno o el polipropileno, son fácilmente descompuestos térmicamente. La pirólisis se produce a través del mecanismo de escisión aleatorio de la cadena y se obtiene un amplio espectro de productos de hidrocarburos, principalmente parafinas y olefinas ligeras que se obtienen durante la pirólisis de polímeros a altas temperaturas (por encima de 700°C).

II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

El objetivo de la pirólisis del Tetra Pak, es obtener los productos con potencial de aplicaciones de valor. En la literatura, sólo existen dos estudios relacionados con la pirólisis de Tetra Pak. El de Wu quien realizó un análisis cinético de la descomposición térmica global de Tetra Pak mediante el uso de TGA, donde se sugiere que la tasa de reacción total puede ser expresada por la suma de los distintos compuestos de LDPE y papel kraft multiplicando los factores de peso. (Wu y Chang, 2001). Los resultados obtenidos del análisis de XRPD indicaron que el aluminio puro se podía obtener del residuo final de la pirólisis. El otro estudio es el de Ahmet Korkmaz et al., 2009, que se describe en el presente artículo.

EXPERIMENTOS DE PIRÓLISIS DEL TETRA PAK:

Los materiales que se utilizaron son residuos de una muestra de Tetra Pak que se obtuvo de la basura. Su composición fue de 63% de papel, 30% polietileno, 7% de aluminio. Los componentes vírgenes de grado comercial de polietileno de baja densidad (3,2 mm pellets extruidos) y papel kraft fueron suministrados por Tetra Pak, Izmir-Turquía, y se utilizaron como materiales de referencia. Tanto los residuos Tetra Pak y papel kraft se redujeron a un tamaño uniforme de aproximadamente 1-2 cm antes de la pirólisis.

Los experimentos de pirólisis se llevaron a cabo en atmósfera de nitrógeno utilizando un semi-batch reactor de pirólisis. Este reactor fue un diseño de lecho fijo de acero inoxidable (26% de cromo en masa), con 6 cm de diámetro y 21cm de altura. En una serie típica, la muestra de aproximadamente 50 g se colocó en el reactor. El sistema se calienta a una tasa de $5^{\circ}\text{C min}^{-1}$ a la temperatura deseada y se mantiene a esta temperatura durante 1h. Los productos volátiles fueron barridos por el gas de nitrógeno (25 ml min^{-1}) del reactor a las trampas de recogida de enfriado con baño de agua-hielo. Después de la pirólisis, el horno se enfría a temperatura ambiente en una corriente de gas de nitrógeno durante la noche.

El tipo de productos obtenidos a partir de la pirólisis varían en función del tipo de muestra. En el caso del Tetra Pak, el producto recolectado en las trampas contenía la fase acuosa y orgánica (cera + compuestos alquitranados), estos fueron separados entre sí por centrifugación. Los residuos sólidos del reactor consistían en coque y aluminio. El aluminio fue separado del coque por el hundimiento con agua. Los productos de pirólisis de Tetra Pak fueron clasificados en seis grupos: los productos de gas, la fase acuosa, compuestos alquitranados, cera, aluminio y coque. Todos los componentes del sistema fueron pesados y la cantidad de gas fue determinada por la diferencia.

SEPARACIÓN POR MEDIOS HÚMEDOS

Como se describió al inicio, la recuperación del papel, el principal componente del Tetra Pak, se lleva a cabo a través de un equipo de hydrapulper. Las condiciones de

II CONFERENCIA INTERNACIONAL

'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

separación húmeda de la parte restante, el laminado de hoja compuesto de polietileno de baja densidad (0,03~0,08 mm) y papel de aluminio (0,02~0,03 mm) (Al-PE) fueron estudiados mediante el efecto de separación utilizando diferentes reactivos, siendo posible comparar los principales factores que influyen en el proceso, entre los que se encuentran: la concentración de los reactivos de separación, la temperatura de reacción, relación de líquido a sólido y el tamaño de los sólidos. Se realizó un diseño de experimentos ortogonal y análisis de la varianza basado en tres indicadores de evaluación, la condiciones óptimas de aluminio y una separación completa de LDPE utilizando ácido metanóico como reactivo de separación. Se obtuvo: 4mol/L de concentración de ácido metanóico, a 60°C de temperatura de reacción, 60L/kg de proporción de líquido a sólido y tamaño del sólido de 5×5cm, en las cuales la tasa de separación podría alcanzar el 100%.

A partir del 2005, muchas plantas y centros de investigación en China han estado trabajando juntos para separar el Al-PE a través de procesos húmedos, pero la mayoría de ellos sólo se centran en la selección de los reactivos de disociación y el diseño del dispositivo de separación, que es más que suficiente para la producción extensiva. La falta de investigación y el debate sobre el mecanismo de separación e infiltración, limita en gran medida la mejora de los métodos de separación existentes. Debido a que el propósito final siempre debe ser la optimización de los parámetros de separación del Al-PE, especialmente, la relación de separación del Al-PE sería alcanzar el 100% y el tiempo de separación mínimo (Zhang Ji-Fei et al., 2009).

EL LDPE- Al COMO UN MATERIAL COMPUESTO

Las alternativas para utilizar las diferentes tecnologías existentes para separar los materiales del Tetra Pak están sujetas al volumen de material reciclado de cada país. Por esta razón, hoy en día los programas ambientales de Tetra Pak apoyan todas las alterativas que favorezcan el reciclaje, con seguridad; en el tiempo cada país se beneficiará de todas las tecnologías. Es el caso que para la fracción restante, compuesta por las capas de aluminio y polietileno se recuperan también utilizándolas como un material compuesto, procesando la mezcla de plástico y metal para obtener productos de madera plástica de gama alta.

El compuesto de reciclaje originado de matriz polimérica/metal es un material de muy bajo costo y muestra potencial para ser utilizado en muchas aplicaciones. Pero en este proceso, la humedad y las impurezas afectan a la calidad del compuesto. Las partículas de aluminio influyen en la mecánica y propiedades térmicas, así como en la termooxidación y la degradación del polietileno. En comparación con el LDPE, el compuesto LDPE-AL tiene menor fluidez, mayor cristalinidad, mejor estabilidad térmica, aumenta el módulo, y menor resistencia al impacto. Sin embargo, el aluminio presente en partículas de una gran forma y distribución de tamaños produce un efecto negativo en la contribución a las propiedades del compuesto. Por lo tanto, mejorar el procesamiento y la técnica de dispersión es necesario para obtener un

II CONFERENCIA INTERNACIONAL

'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

mejor rendimiento y mejores productos. Por otra parte, LDPE-AL ofrece la posibilidad de ser mezclado con otros termoplásticos y/o refuerzos para la

preparación de polímeros de ingeniería, mezclas que contienen un relleno metálico y un compatibilizante, (Lopes y Felisberti, 2006).

Hoy en día, se investiga en la posibilidad de desarrollar materiales compuestos a base de LDPE-Al-Fique, de gran importancia en Colombia. Un estudio que se adelanta, muestra que el comportamiento físico-mecánico del PEBD/Al recuperado de empaques de Tetra Pack de origen post consumo reforzado con fibras continuas de fique dispuestas de forma unidireccional obtenidos a diferentes porcentajes de fibra (10, 30, 50 % v/v), alcanzan desempeños muy favorables a tensión, flexión, impacto, densidad y absorción de agua; se ha podido observar la evolución de la rigidez del compuesto respecto a la incorporación de fibras de fique sin tratamiento en la matriz, al igual que un incremento en las propiedades de resistencia, módulo a tensión y flexión. Por otra parte, la capacidad del compuesto para absorber agua, es influenciada directamente por la naturaleza hidrofílica del fique. Adicionalmente, se han realizado consideraciones del compuesto utilizando la técnica MEB, con el objeto de observar la homogeneidad, porosidad del compuesto y adherencia de la fibra a la matriz, la cual es aceptable a volúmenes bajos de fibras, y deficiente a volúmenes altos de incorporación, por la presencia tanto de vacíos en la interfaz como de ausencia de matriz en la superficie de la fibra. El proceso que se viene implementando para esta aplicación es el moldeo por compresión en prensa de platos calientes. (Hidalgo et al, 2011).

CONCLUSIONES

En los estudios de la pirólisis de residuos de Tetra Pak, se ha observado cuantitativa y cualitativamente que esta técnica aplicada a los envases reciclados produce gas, cera, residuos de carbono y aluminio puro. Además, se resalta que el carbonizado obtenido a partir de la pirólisis es adecuado para su uso como combustible sólido, por su alto poder calorífico y bajo contenido de ceniza. El Producto de gas se forma principalmente de la degradación de cartón y tuvo la más alta proporción de óxidos de carbono. La degradación del polietileno fue significativa. Se pudo conocer que la pirolisis por etapas facilita obtener cera como subproducto.

Los estudios de separación de los materiales del Tetra Pak por medios húmedos han obtenido mejores resultados utilizando en el proceso el ácido metanóico, logrando una tasa de separación cercana al 100% ,un tiempo de separación cercano a los 25min y una tasa de pérdida de Al de 4,73%. Se ha podido observar también que el índice de separación se correlaciona positivamente con la concentración de reactivos, que aumenta la concentración, y la temperatura de reacción, que al aumentar disminuye el tiempo de reacción.

II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

La utilización del LDPE-Al en países sur americanos se ha venido incrementando positivamente, especialmente para la fabricación de materiales compuestos, es de resaltar el caso colombiano donde se esta incorporado fibras de fique para incrementar las propiedades mecánicas, todos estos trabajos se suman a los ya

logrados, como la producción de empaques para cables, o tableros rígidos que se pueden mecanizar para obtener diversas formas, para diferentes aplicaciones, como la producción de tejas, que también es relevante y de gran interés en Sur América.

En consecuencia, los resultados de la presente sistematización de investigaciones sobre las posibilidades de separación y utilización de los materiales que conforman los envases de Tetra Pak, muestran que los residuos de Tetra Pak son un recurso útil de reciclado y la conversión de desechos en diferentes productos puede ser reconocido como un atractivo enfoque empresarial, de gran impacto ambiental e interés mundial.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmet Korkmaz., Jale Yanik., 2009, Mihai Brebu., Cornelia Vasile. Pyrolysis of the Tetra Pak. J. Anal. Appl. Waste Management 29, 2836–2841.
- Hernandez, M.R., Garcia, A.N., Marcilla, A., 2007. Catalytic flash pyrolysis of HDPE in a fluidized bed reactor for recovery of fuel-like hydrocarbons. J. Anal. Appl. Pyrolysis 78, 272–281.
- Hidalgo, M.A, Moya J.C, and Baena E., 2010, “Proceeding Book. Processing of LDPE/AL Composite from Recycled Carton Packages and Evolution of Mechanical Properties,” GPEC SPE’s 2010-Global Plastics Environmental Conference, Orlando-USA.
- Hu, Y., Li, S., 2007. The effects of magnesium hydroxide on flash pyrolysis of polystyrene. J. Anal. Appl. Pyrolysis 78, 32–39.
- Lopes, C.M.A., Felisberti, M.I., 2006. Composite of low-density polyethylene and aluminum obtained from the recycling of postconsumer aseptic packaging. J. Appl. Polym. Sci. 101, 3183–3191
- M. A. Hidalgo, 2011 “Manufacturing rigid board by packaging waste containing aluminum and polyethylene”, Journal of Scientific and Industrial Research. Vol. 70, pp. 232-234
- M. A. Hidalgo, 2010 “STUDY OF MANUFACTURING PROCESS OPTIMIZATION OF RIGID BOARDS OF LDPE/AL COMPOSITE RECYCLE”, Proceedings of the ASME International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC2010, October 12–15, 2010, Erie, Pennsylvania, USA.

II CONFERENCIA INTERNACIONAL 'Gestión de Residuos en América Latina, GRAL 2011'

- M. A. Hidalgo, M. F. Muñoz, 2010 "INTERFACIAL INTERACTION OF A REINFORCED LDPE-Al FIQUE FIBER COMPOSITE: INFLUENCE OF TEMPERATURE" 2 al 5 de November 2010, Viña del Mar, CHILE.
- Worasuwanarak, N., Sonobe, T., Tanthapanichakoon, W., 2007. Pyrolysis behaviors of rice straw, rice husk, and corncob by TG-MS technique. J. Anal. Appl. Pyrolysis 78, 265-271.
- Wu, C., Chang, H., 2001. Pyrolysis of tetra pack in municipal solid waste. J. Chem. Technol. Biotechnol. 76, 779-792.
- Zhang Ji-Fei., Yan Da-hai., Li Zhong-he., 2009. The Recycling of the Tetra-Pak Packages: Research on the Wet Process Separation Conditions of Aluminum and Polythene in the Tetra-Pak Packages. Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2009. ICBBE. 3rd International Conference on. IEEE.