

## **Determinación de los esfuerzos máximos y de cedencia del polialuminio**

GÓMEZ-ÁGUILA, María Victoria & FERNÁNDEZ-CHUAIREY, Lucia

M. Gómez & L. Fernández

`Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México – Texcoco. Chapingo. Estado de México. CP 56 230, tel (01) 595 952-1500

``Universidad Agraria de La Habana. Carretera de Tapaste y 8 vías, San José de la Lajas, Mayabeque, Cuba  
mvaguila@hotmail.com

F. Pérez, E. Figueroa, R. García, L. Godínez (eds.) Ciencias de la Biología, Agronomía y Economía. Handbook T-I.-  
©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

Tetra-pack and tetra-bik are composed of cellulose (75%), aluminum (5%) and polyethylene (20%). The common way to recycle tetra-pak and tetra-bik post-consumption by recovering the cellulose fiber in recycling plants: cellulose, polyethylene and aluminum. Aluminum and recycled polyethylene forms the raw material used in the manufacture of the sheets of poly-aluminum, which are built and sold in the market in order to be used on the roofs of the houses, as materials thermo-acoustic, in formwork (formwork) in civil constructions. The design of equipment and machines using specialized software require parameters that involve the physical-mechanical properties of poly-aluminum. The overall objective of the work is to expose the recycling process of tetra-pak and tetra-bik and the experimental determination of the physico-mechanical properties of poly-aluminum under conditions improved raw material (aluminum and polyethylene).

## 4 Introducción

El reciclaje es un gesto muy útil y sencillo que el medio ambiente agradece de varias formas. La necesidad de nuevas materias primas para crear productos y todo su proceso de extracción, transporte, elaboración y gasto energético, disminuye al reaprovechar los residuos reciclados, de igual forma se evita que estos envases acaben en vertederos, cada vez más saturados y con problemas de impacto ambiental, es por ello, que el reciclado también contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Fernández, A, 2016). En los últimos años se ha despertado un gran interés por el reciclaje y el aprovechamiento de los materiales que utilizamos. Sin embargo, autores como Trujillo (2008); Moreno (2012); Águila (2013); Diana (2014); Darbari (2016) entre otros, corroboran que pocos son los que han logrado materializar el reciclaje en un procedimiento sencillo, fácil de administrar y al mismo tiempo sustentable y citan que países como: Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Japón, entre algunos otros países, han logrado ahorros importantes con la implementación real del reciclaje, hasta llegar incluso al punto en que sus proyectos alcanzan la sustentabilidad. En México se comienza a vislumbrar el reciclaje de basura como una oportunidad para generar beneficios económicos y poder en el mediano plazo ofrecer la sustentabilidad a programas de reciclaje de largo alcance. A pesar de que los proyecto de innovación tecnológica se ha mantenido en los últimos 15 años por debajo de lo esperado, no ha sucedido lo mismo con la generación de basura, por lo que se requiere desarrollar sistemas novedosos que permitan una gestión de los residuos sólidos eficaz, eficiente y sencilla, ya que desgraciadamente muchos de estos procesos han estado sometidos a la improvisación y la ausencia de verdaderos especialistas en la gestión de residuos sólidos.

Los envases de Tetra-pack de post-consumo están compuestos de: celulosa (75%), aluminio (5%) y polietileno (20%). La estructura por capas del envase de afuera hacia adentro, en las que cada una de las partes realiza una función específica, tales como:

1. (Polietileno) Protege el envase de la humedad exterior.
2. (Papel) Brinda resistencia y estabilidad.
3. (Polietileno) Ofrece adherencia fijando las capas de papel y aluminio.
4. (Aluminio) Evita la entrada de oxígeno, luz y pérdida de aromas.
5. (Polietileno) Evita que el alimento esté en contacto con el aluminio
6. (Polietileno). Garantiza por completo la protección del alimento.

La forma más común de reciclar tetra-pack de post-consumo es mediante la recuperación de la fibra en plantas de reciclado de celulosa. Estas plantas toman envases y los colocan en un gran contenedor de agua, llamado hidro-pulper.

Dentro del hidro-pulper se colocan aspas que rotan según especificaciones técnicas. La acción de someter el tetra-pack a determinada frecuencia de rotación, lo que facilita la separación de las fibras ayudando al cartón (celulosa) a "disolverse" fácilmente. Las fibras absorben el agua y se transforman en una gran pasta de fibra acuosa. Cualquier elemento que no sea papel (por ejemplo el polietileno) flotará o se hundirá y podrá ser recogido, raspado o colado, como se muestra en los trabajos de Moreno (2012).

El aluminio y el polietileno se secan y trituran para formar la materia prima destinada a la fabricación de láminas de poli-aluminio. En la actualidad las láminas se construyen y se comercializan en el mercado con la finalidad de ser empleadas en los techos de las casas, como materiales termo-acústicos, en el encofrado (cimbra) en las construcciones civiles. Si bien es cierto que comienza a emplearse en éstos sectores de la economía, también existe la posibilidad de ser utilizadas en la industria automotriz; sin embargo, hasta el momento esto no ha sido posible ya que se desconocen las propiedades físico-mecánicas del poli-aluminio para ser consideradas en el diseño, parámetros importantes a introducir en los software de diseño tales como: CATIA; UNIGRAPHICS NX, TECNOMATIX SIEMENS PLM SOFTWARE, AUTOCAD.

En tal sentido, Gómez (2013) reportó resultados asociados a la obtención de las propiedades del poli aluminio, sin embargo la materia prima que se empleaba en ese instante era la que se obtenía del reciclado del tetra pak sin existir una relación porcentual de los componentes. Por lo que el objetivo del presente trabajo es determinar las propiedades físico-mecánicas del poli-aluminio bajo dos composiciones diferentes de láminas y aluminios.

## 4.1 Materiales y métodos

### 4.1.1 Planificación del experimento

Lugar de ejecución del experimento: La investigación se realizó en el laboratorio de Materiales, perteneciente al departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH)

Condiciones de realización del experimento: El experimento se desarrolló con temperatura atmosférica promedio de 28°C, presión atmosférica de 793.4 Mb y una humedad del aire del 25%, entre los meses de enero y febrero del 2016 [5].

Selección del tamaño de la muestra: Para seleccionar el tamaño de la muestra se determinó a partir de la expresión:

$$n = \sqrt{\frac{S^2 t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1}}{\varepsilon}} \quad (4)$$

Donde:

n : tamaño de la muestra mínima necesaria.

S: desviación standard.

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1}$  valor de la t de Student para una distribución normal con estimación del nivel de confianza prefijado (se trabajó con un nivel de confianza del 95%. Y con un error máximo permisible denominado por  $\varepsilon = \frac{S}{\sqrt{n}} t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1}$  siendo  $\frac{S}{\sqrt{n}}$  el error máximo permisible.

Medios de medición: El medio de medición que se emplea es una máquina universal de tensión-compresión, que registra y grafica automáticamente los esfuerzos vs deformaciones. La máquina se encuentra debidamente calibrada. Para la prueba de absorción se emplea la balanza digital PCE-BSH 10000 de 10 kg y precisión de 0.2 g con función de cómputo e interfaz de datos RS-232, calibrada y ajustada acorde a las exigencias planteadas para este tipo de trabajo. Para ambos estudios se consulta la norma ASTM D570-98, la que establece las dimensiones de las probetas a ensayar (295 mm de largo, con longitud de ensayo: 85 mm, 20 mm de ancho y espesores: 6 y 10 mm).

Descripción del experimento: Las propiedades físico-mecánicas del poli-aluminio se obtienen al realizar el ensayo a tracción en la máquina universal y bajo dos condiciones de estudio diferentes: experimento 1 con 80% de Polietileno y 20 % de aluminio de alta densidad y experimento 2 con 60% de polietileno y 40% de aluminio de alta densidad.

Para la caracterización de las propiedades Físico-Mecánica se utilizó una estadística descriptiva que incluyó medidas de tendencia central y medidas de dispersión y para comparar dos muestra la prueba t (t-student y el p-valor). Para el procesamiento de los datos, en todos los casos se utilizó el software estadístico, Statgraphics Plus Centurion versión. XV.II (2015).

## 4.2 Resultados y discusión

En la tabla 4 se observan las propiedades físico - mecánicas del polialuminio más importantes desde el punto de vista del diseño de elementos de máquinas, que son requeridos para el diseño por computadoras.

**Tabla 4** Propiedades físico-mecánicas del poli-aluminio bajo dos composiciones de materia prima diferentes

Composición de la materia prima	Experimento 1 80 % Polietileno + 20 % Aluminio	Experimento 2 60 % Polietileno + 40 % Aluminio
Esfuerzo máximo de tracción; MPa		
Media	59,25	106,6
Error estándar	0,51	0,93
Coeficiente de variación	5,44 %	5,54%
Esfuerzo de cedencia; MPa		
Media	30.78	83,82
Error estándar	0,16	0,38
Coeficiente de variación	3,46 %	2,90 %
Elongación; %		
Media	0,15	0,08
Error estándar	0,0007	0,002
Coeficiente de variación	3,21 %	22,84%
Módulo de Young; GPa		
Media	21,67	43,41
Error estándar	0,20	0,62
Coeficiente de variación	6,03	5,93%

En esa misma tabla se observa que los valores promedios de esfuerzo máximo de tracción para el experimento 1 (80 % Polietileno + 20 % Aluminio) fue de 59, 25 MPa, mientras que en el experimento 2 (60 % Polietileno + 40 % Aluminio) la media alcanzó un valor de 106,6 MPa, ambos valores superan considerablemente los encontrados por Gómez (2013) cuyo valor reportado fue solo de 20 MPa, cuando en el proceso de fabricación de las láminas de poli-aluminio se realizó sin tener en cuenta la composición de la materia.

Por otra parte las medias del esfuerzo de cedencia fueron de 30.78 MPa para el experimento 1 y de 83, 82 para el experimento 2, estos resultados pudieran estar asociados igualmente a las condiciones en que se desarrollaron ambos experimentos. Es de destacar que tanto en el esfuerzo máximo de tracción como para la cedencia, los coeficiente de variación por están por debajo del 5,54% lo que indica que existe poca variabilidad en los datos, para una mejor confiabilidad en los resultados.

Al comparar los promedios alcanzados (Tabla 4.1) en ambos experimentos en las cuatro propiedades estudiadas, se pudo comprobar con un 95% de confianza que existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores promedios en todos los casos, con p-valor = 0,0000 lo que indica que la relación 60-40 % de polietileno y aluminio se obtienen mejores propiedades, sin embargo, existe una limitante en lograr dicha relación ya que la cantidad de tetra pak reciclado en los hidropulper alimenta sólo la cantidad de 5 % de aluminio y 20% de polietileno, siendo esto una limitante en el flujo de producción por la falta del 50% de aluminio en cada ciclo de trabajo.

**Tabla 4.1** Resultados encontrados en las docima de comparación de medias

Docimas de comparación de dos muestras	Experimento 1 80 % Polietileno + 20 % Aluminio	Experimento 2 60 % Polietileno + 40 % Aluminio
Esfuerzo máximo de tracción; MPa		
Estadígrafo (t-student)	t = - 44,48	
P-valor	p-valor = 0,0000	
Esfuerzo de cedencia; MPa		
Estadígrafo (t-student)	t = - 126,05	
P-valor	p-valor = 0,0000	
Elongación; %		
Estadígrafo (t-student)	t = 24,98	
P-valor	p-valor = 0,0000	
Módulo de Young; GPa		
Estadígrafo (t-student)	t = - 42,34	
P-valor	p-valor = 0,0000	

El estudio realizado permitió caracterizar propiedades físico-mecánica del poli-aluminio bajo dos relaciones porcentuales diferentes en los componentes, lo que constituye una base para investigaciones asociadas con el reciclado del tetra pak y tetra bik de post consumo y de ahí que se incremente la finalidad de empleo y demanda del poli-aluminio en procesos de construcción y otras áreas.

### 4.3 Conclusiones

Las propiedades físico-mecánicas del poli-aluminio con relación 60-40 % de polietileno y aluminio respectivamente presentan un comportamiento mejor que las elaboradas 80-20 % por lo que se debe considerar la composición de la materia prima a emplear en la fabricación de estas láminas, para así obtener un mejor comportamiento a la resistencia, rigidez y estabilidad mecánicas de los elementos a construir con dichas láminas.

#### 4.4 Referencias

Aguíla, M.V. (2013). Experimental Determination of the Physical and Mechanical Properties of the Poly-aluminum. Memorias el XXII Congreso Nacional y primer Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica Agrícola, México.

Darbari, S. (2016). Post Consumer Tetrapak (PCCs) Management. New Delhi the Energy and Resources Institute. (Projet Report EE04). India.

Diana V. (2014). Estudio comparativo de cenizas de bagazo de caña como adición puzolánica. Revista Colombiana de Materiales Edición Especial Artículos Cortos, 5(5): 13-18.

Fernández, A. (2016). “Para qué sirve reciclar”. Revista Eroski en catlá, 1-3. ISBN 978-968-9773-03.

Moreno, C. (2012). Composición del envase (s.f.) Productos/Servicios: El sistema Tetra Brik. Tetra Pak Argentina. [En línea] Disponible en: [http://www.tetrapak.com/ar/products\\_and\\_services/elsistemadetrabrik/composici%C3%B3n%20del%20envase/Pages/default.aspx.2012\\_](http://www.tetrapak.com/ar/products_and_services/elsistemadetrabrik/composici%C3%B3n%20del%20envase/Pages/default.aspx.2012_) (Consultado: mayo 2016).

Statgraphics Plu. (2015) Centurion version. XV.II

Trujillo, M. (2008). Estudio Comparativo entre Compuestos de Bagazo de Caña y de Agave. Memorias del XIV Congreso Internacional Anual de la SOMIM. Puebla, México