

Análisis de Pruebas Mecánicas a Láminas de Aglomerado de Tetra Pak Fabricadas Artesanalmente en la Ciudad de Pasto

Jorge Enrique López Castro, Wilder Alexander Calvache Botina

Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Autónoma de Nariño
Pasto, Colombia

Jorgelopezc721@gmail.com

wilderalex@gmail.com

Resumen—El documento propone el uso de envases de Tetra Pak como materia prima para fabricación de láminas aglomeradas, tras su función de contener alimentos. Este proceso incluye la selección de los envases, su lavado para descontaminarlos, trituración, prensado con altas temperaturas para aglutinar sin aditivos, utilizando las capas de plástico como aglutinante. Las láminas resultantes tienen características físicas y mecánicas de aglomerados de alta densidad, con potencial uso en aplicaciones como aglomerados melamínicos, y se destaca su bajo impacto ambiental al no requerir material vegetal, ni aditivos aglutinantes.

Palabras clave: Residuos sólidos, reciclaje, viruta, aglomerado, Tetra Pak, láminas.

Abstract—The document proposes the use of Tetra Pak containers as raw material for the manufacture of agglomerated sheets, after their function of containing food. This process includes the selection of the containers, their washing to decontaminate them, crushing, pressing at high temperatures to bind without additives, using the plastic layers as a binder. The resulting sheets have the physical and mechanical characteristics of high-density agglomerates, with potential use in applications such as melamine agglomerates, and their low environmental impact stands out as they do not require plant material or binding additives.

Keywords: Solid waste, recycling, shavings, chipboard, Tetra Pak, sheets.

I. INTRODUCCIÓN

El texto describe una investigación sobre la fabricación y propiedades de un material hecho exclusivamente a partir de envases Tetra Pak, común en la industria alimentaria y licorera. Estos envases, compuestos por plástico, aluminio y cartón, son difíciles de reciclar debido a su compleja estructura y falta de tecnología para separar sus capas eficientemente. La investigación utiliza estos envases para crear un material tipo aglomerado, sin utilizar madera ni aglutinantes, con un proceso de fabricación ambientalmente amigable. Se realizan pruebas mecánicas y físicas según normativas para evaluar su calidad, logrando cumplir con la mayoría de los requisitos. La investigación demuestra la posibilidad de reutilizar estos residuos de manera responsable, abriendo oportunidades para su uso en muebles y recubrimientos arquitectónicos, con un bajo impacto ambiental.

II. DESARROLLO DE CONTENIDOS

¿Por medio del procesamiento de envases de Tetra Pak, es factible elaborar un nuevo material que puede ofrecer propiedades similares en comparación con materiales existentes? propiedades similares en comparación con materiales existentes?

A. Objetivo General

Analizar las propiedades mecánicas de láminas de Tetra Pak elaboradas artesanalmente.

B. Objetivos Específicos

- Investigar las propiedades del Tetra Pak.
- Describir y especificar el método de fabricación de las láminas en base al tiempo, temperatura, presión y tamaño de viruta que presenta el proceso para la producción definitiva de las láminas.
- Realizar pruebas físicas y mecánicas a las láminas.
- Definir sus aplicaciones y usos industriales basados en las propiedades.

III. MARCOS

A. MARCO CONCEPTUAL

En Colombia se producen aproximadamente 550 toneladas de empaque de Tetra Pak por mes, es decir que anualmente se generan alrededor de 6600 toneladas de desecho que finalmente llegan a los botaderos y rellenos sanitarios. El consumo y la generación del residuo de Tetra Pak han venido en crecimiento, por la gran demanda de productos que ingresan al mercado en envases de un solo uso, provocando un impacto al medio ambiente, con la participación de entidades públicas y privadas para su reincorporación a su cadena de valor. [1].

El reciclaje es una de las mejores estrategias para contrarrestar el desmesurado crecimiento en la generación de basuras, desarrollar nuevos productos y generar energía. Es necesario tener alternativas para la disposición final de los residuos más allá de los rellenos sanitarios que en muchos casos afectan la salud de los habitantes y los ecosistemas aledaños.

B. MARCO TEORICO

Tetra Pak es creada en Lund Suecia, en 1951, su fundador, el doctor Ruben Rausin, inicio la empresa con el fin de crear una alternativa a los pesados envases de vidrio usados para envasar y distribuir la leche, junto con el ingeniero Erik Wallenberg, desarrollo un envase de cartón de papel con forma de tetraedro, que inspiró el nombre de la empresa y marcó el comienzo de una innovadora distribución segura de alimentos en todo el mundo, Su principal característica es ser un envase aséptico, lo cual permite que los alimentos puedan ser transportados por largas distancias sin una rigurosa cadena de frío.[2]

Composición del Tetra Pak: “El esqueleto de un envase de Tetra Pak se compone de la suma de tres tipos de materiales diferentes: 75% PAPEL + 20% POLIETILENO + 5% ALUMINIO [2]”.

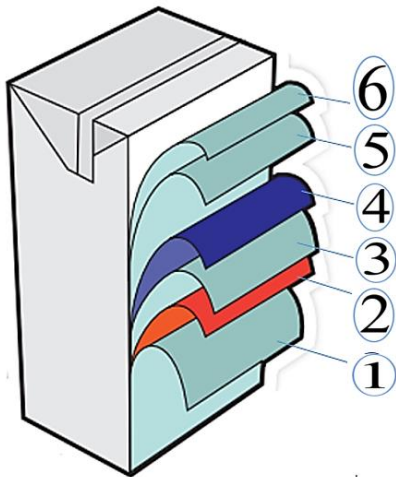


Fig. 1 Composición de Tetra Pak
Fuente: Tetra Pak [3]

Nota: En el cuadro anterior se puede observar el orden de las capas, el material utilizado y el papel que cumple en el envase.

TABLA I

Descripción de capas que compone el envase Tetra Pak y su función.

Número de capas	Material	Descripción
1 capa	polietileno	Impermeabiliza el envase y protege los alimentos de la humedad atmosférica externa.
2 capa	cartón	Le da la forma, estabilidad y rigidez al envase. Sobre esta capa se realiza la impresión del diseño gráfico de cada producto.
3 capa	polietileno	Permite la adhesión entre el cartón y la capa de aluminio.
4 capa	aluminio	Actúa como barrera contra la luz y el oxígeno, es la capa más importante del envase y la que marca la diferencia. Gracias a este material, los alimentos permanecen completamente protegidos del entorno.
5 capa	polietileno	Optimiza la adhesión del aluminio.
6 capa	polietileno	Previene el contacto con el producto con las otras capas del material de envase.

Fuente: Tetra Pak [3]

Nota: En el cuadro anterior se puede observar el orden de las capas, el material utilizado y el papel que cumple en el envase.

C. MARCO LEGAL

El reciclaje es una herramienta crucial para la preservación del medio ambiente, ya que ayuda a gestionar adecuadamente los distintos tipos de residuos. Con el aumento de la población, también crece el consumo y, por ende, la cantidad de residuos generados. Cuando estos residuos no se manejan adecuadamente, representan un riesgo para el entorno. Es fundamental que la población adopte hábitos que contribuyan al cuidado del medio ambiente, como controlar el consumismo y practicar el reciclaje, que además puede generar una nueva fuente de materias primas. Esto se hace con el objetivo de preservar y utilizar de manera sostenible nuestros recursos naturales.

En Colombia, existen normativas emitidas por las autoridades para regular el manejo de residuos.

- **Decreto 2811 del 18 de Diciembre de 1974**, “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.”.[4]
- **Ley 09 de 1979: Código Sanitario Nacional**, b. Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.[5]
- **Norma Técnica Colombiana 2261: Madera, Tableros de Partículas Aglomeradas para Aplicaciones Interiores no Estructurales**. Esta norma establece las características que deben cumplir los tableros de partículas aglomeradas de madera u otro material lignocelulósico para aplicaciones interiores no estructurales. [6]

IV. PROCESO DE FABRICACION DE LA LÁMINA TETRA PAK

Para la elaboración de las láminas aglomeradas de Tetra Pak la primera etapa consiste en la recolección manual de estos envases de los residuos sólidos, los cuales deben estar en buen estado, se aplastan y organizan para su transporte, posteriormente se realiza una selección de envases asegurando la calidad de la materia prima, se despojan los envases de tapas, boquillas y en el caso de las cajas pequeñas que suelen contener aun los pitillos. A continuación se realiza la apertura manual de cada una de las cajas para hacer la descontaminación y limpieza de cada envase porque es de mucha importancia que los residuos alimenticios no alteren el producto final, este procedimiento acompañado de un secado al aire libre para evitar la producción de hongos o bacterias. Para el proceso de fabricación de las láminas se requiere la trituración del Tetra Pak, etapa la cual llevó a la necesidad de fabricar una trituradora que nos proporciona viruta de tamaño homogéneo (fig. 2).

Una de las características principales de la fabricación de los aglomerados es que se realiza con altas presiones y para este caso puntual de las láminas de Tetra Pak se diseñó moldes metálicos con láminas de acero capaces de resistir tanto presiones como temperaturas altas, los moldes son llenados con la viruta previamente pesada en una gramera digital, peso el cual está basado en la densidad de aglomerados del comercio de características similares, con el peso de viruta deseado se realiza el cierre con prensas en “c”, controlando la presión de la tapa con una llave de torque, con el objetivo de obtener muestras de medidas uniformes, una vez prensado se lleva al horno para que el polietileno en condiciones de temperatura, presión y tiempo cumpla su papel de aglomerar los materiales que estos envases componen y obteniendo laminas aptas para someter a los ensayos planteados en base a normas técnicas.



Fig. 2: Proceso de trituración envases Tetra Pak.
Fuente: Esta investigación.

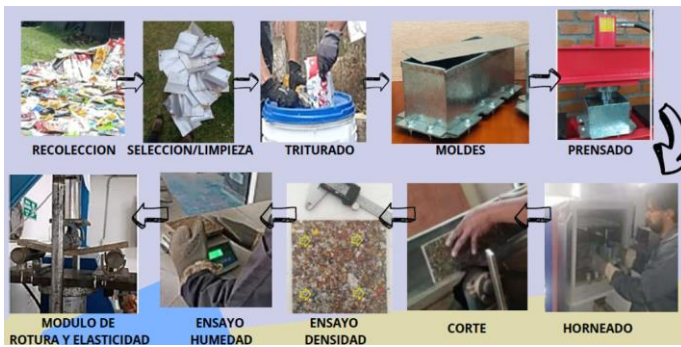


Fig. 3: Proceso de fabricación láminas Tetra Pak
Fuente: Esta investigación.

Nota: para el proceso de prensado en caliente, la viruta de Tetra Pak es comprimida en los moldes gracias a una prensa hidráulica y expuesta a una temperatura de 180°C por un tiempo aproximado de 40 minutos, estas condiciones de presión, temperatura y tiempo permite que al compactar y prensar los envases triturados por medio del calor se derrita el polietileno haciendo que el aluminio y el cartón formen un aglomerado uniforme.

V. ENSAYOS DE LABORATORIO

A. Determinación de la Densidad

De acuerdo con la norma NTC 2261, numeral 7.2.1 se dispone las probetas en forma de cuadrado de 150 mm con una tolerancia de ± 1.5 mm con bordes rectos, se determina la masa de la probeta con una aproximación de 0.1 g.

El espesor se mide en 4 puntos diferentes como se observa en la figura 24, obteniendo la media aritmética de las 4 medidas el cual se considera como espesor efectivo de las probetas; con los datos obtenidos de las dimensiones se obtiene el volumen con la aproximación de 0.1 cm^3 . [6]

La densidad se calcula mediante la siguiente

$$D = \frac{M}{V} * 1000$$

Ecuación: 1

En donde:

D = densidad, en kg/m³

M = masa de la probeta, en gramos

V = volumen, en cm^3

La densidad de un tablero será la media aritmética de las probetas ensayadas. [6]

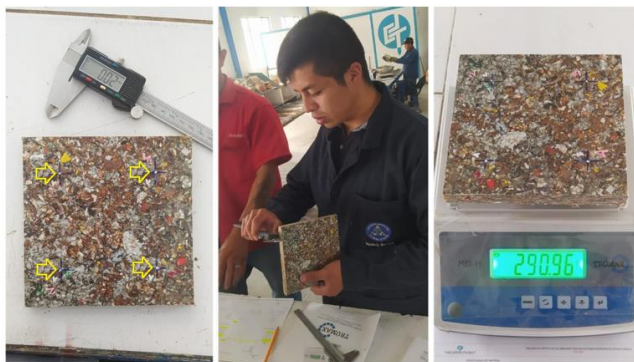


Fig. 4: Obtención de media aritmética de dimensiones y masa de las probetas
Fuente: Esta investigación.

TABLA II
Determinación de la Densidad

MUESTRA 1	1	2	3	4	PROMEDIO
DIMENSIONES (lado cm)	15,7	15	15,11	15,96	15,4425
Altura Espécimen/Espesor (cm)	1,463	1,47	1,524	1,518	1,49375
Variación del espesor (mm)	0,008				
Área de la muestra (cm ²)	238,47				
Volumen de la muestra (cm ³)	356,22				
Peso de la muestra (gr)	290,96				
Densidad de la muestra Kg/m ³	816,7986076				

Fuente: Esta investigación.

B. Determinación de contenido de humedad.

Se determinará la humedad sobre las mismas probetas en que se determinó la densidad. La masa de la muestra debe ser determinada en una balanza con precisión de $\pm 0,1$ g. El secado se efectúa a una temperatura de $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ en un secador con circulación de aire hasta obtener masa constante, comprobada mediante determinaciones sucesivas a intervalos no menores de una hora. [6]

$$CH = \frac{M1 - M2}{M2} * 100$$

Ecuación: 2

En donde:

CH = contenido de humedad, en porcentaje en masa.

M1 = masa inicial de la muestra, en g.

M2 = masa seca de la muestra, en g. [6]

TABLA III
Determinación de contenido de humedad

MUESTRAS	MUESTRA 1	MUESTRA 2
MUESTRA HUMEDA (g)	290,65	275,34
MUESTRA SECA (g)	282,23	267,58
HUMEDAD (%)	3,00%	2,90%

Fuente: Esta investigación.

C. Determinación del Módulo de Rotura

Con respecto a la norma NTC 2261, las dimensiones de las probetas son: ancho 7.5 cm, largo 15 veces el espesor nominal más 5 cm, si el espesor es mayor que 7 mm.

El espesor se mide en tres puntos del eje transversal sobre el que se aplica la carga, uno de ellos sobre el centro y los otros dos puntos 5 mm de los bordes de la probeta, con una precisión de 0.1mm. La media aritmética de las tres dimensiones se toma como valor de espesor.

El módulo de rotura y el módulo de elasticidad se determinan con una máquina para ensayos de resistencia de materiales, provista con dos apoyos paralelos cuya distancia es regulable. Los apoyos pueden tener extremos redondeados o planos, de tal forma que no se

produzca mucha presión en estos puntos de la probeta durante el ensayo.

La distancia entre los apoyos debe ser la siguiente: 15 veces el espesor de la probeta, si éste es mayor que 7 mm. La carga se aplica a todo lo ancho de la probeta, normal al plano de la superficie y equidistante de los puntos de apoyo como se muestra en la figura 5.

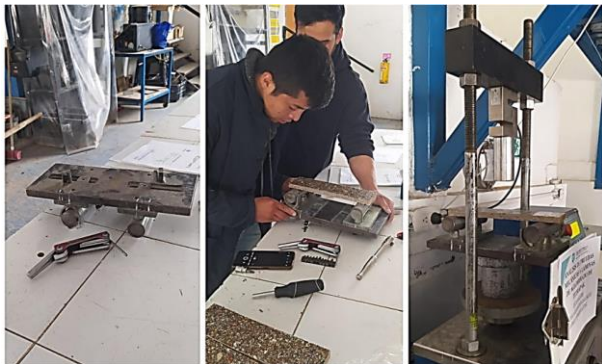


Fig. 5: Preparación máquina de ensayo
Fuente: Esta investigación.

El módulo de rotura se expresa, en N/mm^2 y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$MOR = \frac{3 * P * L}{2 * a * e^2} \quad \text{Ecuación: 3}$$

En donde:

MOR = módulo de rotura, en N/mm^2 .
P = carga aplicada, en N.
L = distancia entre los apoyos, en mm.
a = ancho de la probeta, en mm.
e = espesor nominal de la probeta, en mm.

El módulo de rotura de un tablero será la media aritmética de las probetas ensayadas. [6]

TABLA IV
Determinación del Módulo de Rotura

Muestra 1	1	2	3	4	promedio
Distancia entre apoyos (mm)	225	225	225	225	225
Ancho de la probeta (mm)	75	75	75	75	75
Espesor probeta (mm)	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
Carga aplicada (N)	394				
Módulo de rotura	8.43	N/mm^2			

Fuente: Esta investigación.

D. Determinación del Módulo de Elasticidad.

El módulo de elasticidad se determina bajo las mismas condiciones en que se efectúa la determinación del módulo de rotura. El módulo de elasticidad se expresa en N/mm^2 y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$MOE = \frac{P_1 * L^3}{4 * a * e^3 * y_1} \quad \text{Ecuación: 4}$$

En donde:

MOE = módulo de elasticidad, en N/mm^2

P_1 = carga en el límite proporcional, en N

y_1 = deflexión en el límite proporcional, en mm

e = espesor nominal de la probeta, en mm

a = ancho de la probeta, en mm

L = distancia entre los apoyos, en mm. [6]

TABLA V
Determinación del Módulo de Elasticidad.

Muestra 1	1	2	3	4	promedio
Distancia entre apoyos (mm)	225	225	225	225	225
Ancho de la probeta (mm)	75	75	75	75	75
Espesor probeta (mm)	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9
Carga-límite proporcional (N)	160		Deflexión(mm)		3.83
Módulo de elasticidad	479.50		N/mm^2		

Fuente: Esta investigación.

TABLA VI
Ensayo en Máquina de resistencia de materiales



Fuente: Esta investigación.

VI CONCLUSIONES

Se ha creado un método artesanal para fabricar tableros aglomerados de Tetra Pak utilizando material reciclado, específicamente envases de Tetra Pak desechados. Este método prescinde de sustancias adhesivas que pueden contener compuestos tóxicos, como el formaldehído, comunes en los tableros de madera que emplean resinas como aglutinantes.

Se destaca la importancia de concienciar sobre el reciclaje de envases de Tetra Pak, ya que muchos fueron desechados con residuos alimenticios, lo que provocó malos olores, descomposición y acumulación de líquidos en los lugares de almacenamiento. Se implementó un proceso de limpieza y desinfección utilizando agua de lluvia y detergentes biodegradables para minimizar el impacto ambiental.

La trituración de este material llevó esta investigación a la necesidad de acudir a empresas establecidas en la fabricación de productos a base de reciclaje que requieren dentro su proceso el triturado de distintos materiales, al no contar con la cantidad mínima requerida por el diseño de los equipos y de las empresas prestadoras de este servicio se optó por descartar el tomar este servicio al no cumplir con una cantidad

industrial de materia prima y por el costo, lo que nos llevó a experimentar con diferentes herramientas de corte, como tijeras, licuadora industrial y cuchillas, siendo esta última la opción más favorable al obtener un tamaño homogéneo de viruta y ahorro de tiempo, basados en el principio básico de funcionamiento de una procesadora de alimentos de uso casero, se desarrolló el proceso de triturar la materia prima.

Para el proceso de prensado en caliente (horneado) se diseñó diferentes moldes pensando en el fácil desmolde, resistencia a las presiones y temperaturas, se usó acero galvanizado calibre 20 (0.85mm) y teniendo en cuenta las especificaciones de la norma técnica colombiana NTC 2261 “Madera, tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones interiores no estructurales”, lo que limita las dimensiones de los moldes fabricados

Se realizó la determinación de propiedades de láminas de material desarrollado y fabricado artesanalmente, basándose en la norma NTC 2261 que establece características para tableros de partículas aglomeradas de madera. Para este caso específico, al no existir una norma aplicable para láminas aglomeradas fabricadas con material reciclado, se utilizan los parámetros de la NTC 2261 como referencia.

Se encontró que la densidad de las láminas es superior a 800 kg/m, clasificándolas como de alta densidad. El contenido de humedad es aproximadamente del 3%. El módulo de rotura promedio de las probetas ensayadas es de 8,04 N/mm², cumpliendo con los requisitos para una lámina de grado LG. Sin embargo, el módulo de elasticidad promedio es de 477,6 N/mm², por debajo del mínimo requerido por la norma NTC 2261 para un tablero aglomerado de grado LG, lo que indica un material más rígido en comparación con dicha norma. Esto confiere características similares a las láminas de fibrocemento de uso liviano comunes en la industria de la construcción.

VII REFERENCIAS

- [1] Jarava, J. I. (2021). *Modelo estratégico para la inclusión del Tetra Pak*. tesis de grado, Universidad Antonio Nariño, nariño, pasto. Obtenido de <https://onx.la/20332>
- [2] TetraPak International . (s.f.). *TetraPak International SA*, ©. Obtenido de <https://goo.su/tLQf>
- [3] Tetrapak . (s.f.). *tetra pak*. Obtenido de <https://goo.su/5GQIEsQ>
- [4] Presidencia De La Republica. (1974, Diciembre 18). *Decreto 2811 de 1974*. Obtenido de <https://goo.su/htPLT>
- [5] EL CONGRESO DE COLOMBIA. (1979). *LEY 9 DE 1979: codigo sanitario nacional*. Obtenido de <https://onx.la/cf137>
- [6] ICONTEC. (2003, 25 de julio). *NORMA TECNICA COLOMBIANA 2261: MADERA, TABLEROS DE PARTICULAS AGLOMERADAS PARA APLICACIONES INTERIORES NO ESTRUCTURALES*. ICONTEC. Obtenido de <https://goo.su/ecNc>