



*Uso de tetra pack como elemento constructivo de cubiertas para techos de viviendas*

*Use of tetra pack as a constructive element for roofs of houses*

*Utilização do tetra pack como elemento construtivo para alojar coberturas de telhado*

Fernando Yilmar Castañeda-Onofre <sup>I</sup>  
[fcastanedao@ulvr.edu.ec](mailto:fcastanedao@ulvr.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-2717-6340>

Jonathan Adrián Ortega-Robles <sup>II</sup>  
[jortegaro@ulvr.edu.ec](mailto:jortegaro@ulvr.edu.ec)  
<https://orcid.org/000003-4211-0710>

Javier Nicolás Areche-García <sup>III</sup>  
[javier.arecheg@ug.edu.ec](mailto:javier.arecheg@ug.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-0985-9482>

**Correspondencia:** [fcastanedao@ulvr.edu.ec](mailto:fcastanedao@ulvr.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de mayo de 2022 \* **Aceptado:** 12 de junio de 2022 \* **Publicado:** 28 de julio de 2022

- I. Ingeniero Civil, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Investigador independiente, Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Samborondón, Asistente de Legalización, Ecuador.
- II. Ingeniero Civil, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Investigador independiente, Asesor en Banca y Seguros, Gerente General, Ecuador.
- III. Magister Scientiarum en Gerencia Empresarial, Doctor en Ciencias para el Desarrollo Estratégico, Docente Investigador en Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción Carrera de Ingeniería Civil, Universidad de Guayaquil, Facultad de Matemáticas y Física Carrera de Ingeniería Civil, Docente investigador, Ecuador.

## Resumen

El tetra Pak es un material utilizado en la fabricación de envases para el almacenamiento de alimentos, porque es apto y recomendable para conservarlos por mucho tiempo. Actualmente, el Tetra Pak genera grandes cantidades de desechos, por lo que en Ecuador, se realiza el reciclaje de estos desechos sólidos, que a través de un proceso de industrialización se adquieren materiales nuevos para la construcción. Por ello, esta investigación tiene como objetivo principal analizar el uso de Tetra Pak como elemento constructivo en el área rural de la provincia del Guayas- Ecuador. En cuanto a la metodología, es una investigación con enfoque cuantitativo, y se rige por un método deductivo. El tipo de investigación es descriptiva y experimental. Del mismo modo, se definieron las características que debe contener el techo para vivienda, y se llevó a cabo los respectivos análisis de cada característica requerida. Como se ha determinado en esta investigación, para los parámetros de densidad y porcentaje de humedad cumple con las normas INEN 1320; en cuanto a la flecha máxima y gradiente térmico no se pudo comparar debido a la inexistencia de estos parámetros en la norma, y el módulo de elasticidad del Tetra Pak no cumplió con el valor requerido. Por lo tanto, tomando en cuenta únicamente los tres parámetros que contempla la norma, se concluye que las láminas de Tetra Pak cumplen con especificaciones técnicas en un 75%.

**Palabras clave:** Ambiente y manejo de desechos; reciclaje; construcción civil; Tetra Pak; fabricación.

## Abstract

Tetra Pak is a material used in the manufacture of containers for food storage, because it is suitable and recommended to preserve them for a long time. Currently, the Tetra Pak generates large amounts of waste, so in Ecuador, the recycling of this solid waste is carried out, which through an industrialization process acquires new materials for construction. Therefore, this research has as its main objective to analyze the use of Tetra Pak as a construction element in the rural area of the province of Guayas-Ecuador. Regarding the methodology, it is a research with a quantitative approach, and is governed by a deductive method. The type of research is descriptive and experimental. In the same way, the characteristics that the roof for housing must contain were defined, and the respective analyzes of each required characteristic were carried out. As has been determined in this investigation, for the parameters of density and percentage of humidity, it

complies with the INEN 1320 standards; Regarding the maximum deflection and thermal gradient, it could not be compared due to the non-existence of these parameters in the standard, and the modulus of elasticity of the Tetra Pak did not meet the required value. Therefore, taking into account only the three parameters contemplated by the standard, it is concluded that Tetra Pak sheets comply with technical specifications by 75%.

**Keywords:** Environment and waste management; recycling, civil construction; Tetra Pak; manufacturing.

## Resumo

O Tetra Pak é um material utilizado na fabricação de recipientes para armazenamento de alimentos, pois é adequado e recomendado conservá-los por muito tempo. Atualmente, a Tetra Pak gera grandes quantidades de resíduos, por isso, no Equador, é realizada a reciclagem desses resíduos sólidos, que através de um processo de industrialização adquire novos materiais para construção. Portanto, esta pesquisa tem como objetivo principal analisar o uso do Tetra Pak como elemento construtivo na área rural da província de Guayas-Ecuador. Quanto à metodologia, trata-se de uma pesquisa com abordagem quantitativa, e rege-se por um método dedutivo. O tipo de pesquisa é descritiva e experimental. Da mesma forma, foram definidas as características que o telhado para habitação deve conter e realizadas as respectivas análises de cada característica exigida. Como foi determinado nesta investigação, para os parâmetros de densidade e porcentagem de umidade, atende às normas INEN 1320; Em relação à deflexão máxima e gradiente térmico, não foi possível comparar devido à inexistência desses parâmetros na norma, e o módulo de elasticidade da Tetra Pak não atendeu ao valor exigido. Portanto, levando em consideração apenas os três parâmetros contemplados pela norma, conclui-se que as chapas Tetra Pak atendem às especificações técnicas em 75%.

**Palavras-chave:** Meio ambiente e gestão de resíduos; reciclagem; construção civil; Tetra Pak; manufatura.

## Introducción

La contaminación a gran escala por parte de los desechos sólidos ha sido un problema que cada día se agrava más, por ende, se han buscado respuestas para solucionar este impacto ambiental, por lo que la cultura de reciclaje se ha ido desarrollando cada vez más de mejor manera. Dentro de las manufactureras se han planteado la posibilidad de implementar en sus procesos de producción, materiales que provienen del reaprovechamiento, para lo cual estos materiales son manejados como materia prima la elaboración de nuevos productos útiles y muy funcionales (Gallego, 2020).

En la República del Ecuador ha proliferado la cantidad de residuos y desechos sólidos y la solución a esta problemática es el reciclaje. Con el interés de mejorar las condiciones ambientales de la nación las empresas privadas hacen reciclaje de desechos sólidos, uno de los más reutilizados son los envases Tetra Pak. El Universo (2019), manifestó que la empresa Tetra Pak®, registró una cifra récord del 29% de reciclaje en todo el Ecuador en 2018, la más alta de la región.

En relación con lo anterior, este cifra record equivale alrededor de 2.500 toneladas de este material post consumo con la intención de reutilizarse en productos prácticos con los que se elaboran muebles, accesorios, planchas, paneles, y otros, que se distribuyen en diversas ciudades del país; y cada año su cantidad de residuos y desechos acopiados está en aumento por lo que es imprescindible buscar novedosas alternativas que sean asequibles en el mercado para su reutilización y se tornen como una solución de optimización de desechos sólidos (El Universo, 2019).

En la provincia de Guayas, Mora (2017), revela que los desechos reciclables oscilan entre el 10% y 30% del total de ellos, entre ellos están los recipientes de Tetra Pack, desechados en terrenos baldíos, vías públicas y los encontrados en el botadero de desechos sólidos. Hay que destacar, que esta provincia tiene diversidad de clima, suelo, y demás características que le otorgan pluralidad étnica, ecológica, paisajística, productiva y turística, siendo una de las que mayor movimiento económico a nivel nacional produce.

No obstante, preexiste una carencia en la coordinación interinstitucional y articulación de los distintos niveles de gobierno, lo que crea una diversidad de problemas que entorpecen el desarrollo del territorio, entre ellas están los inconvenientes demográficos en las zonas rurales de la misma (Prefectura del Guayas, S/f.).

Como se mencionó anteriormente, el Tetra Pak es un material muy empleado para la elaboración de productos de construcción. Presenta particulares perdurables y resistentes, cuya composición es

75 % fibras de celulosa, 20 % polietileno de baja densidad y 5 % aluminio, además utilizan papel fabricado de sulfato sin blanquear y pulpa a partir de un proceso químicotermo-mecánico (Gómez y Fernández, 2017).

Originalmente, son cajas diseñadas para almacenar y conservar alimentos, de las que se un obtiene un muy buen aislamiento con un bajo espesor de material. De acuerdo acon Lara (2016), indica que debido a esa propiedad, se han ejecutado diferentes intentos para producir materiales reciclados que potencialmente pueden mejorar el comportamiento térmico básico de los hogares utilizando un relleno formado de envases tetra-triturados, que se empleen como paneles dentro de una vivienda con estructura de madera.

En la actualidad, los aglomerados y otros materiales fabricados a base de Tetra Pak se han convertido en un elemento provechoso de la construcción factible dentro del desarrollo civil, permitiendo adoptar nuevos materiales y reduciendo así la contaminación ambiental, el Tetra Pak es un buen componente para la fabricación de partes constructivas, (Mere, 2014). Es de destacar que hay que buscar materiales innovadores que sean más sostenibles y que se deba aprovechar lo que se tiene en el entorno para aprovecharlos hacia la sociedad en la construcción de viviendas.

De acuerdo con declaraciones de Ocampo (2021), presidente de la Cámara de la Industria de la Construcción, en Ecuador existe un déficit de 500 mil viviendas. También declara que se deben realizar proyectos para construir viviendas sociales a bajo costo que sean asequibles a la población.

De acuerdo con González (2021), las provincias con más déficit de viviendas son Guayas, Manabí y Los Ríos, entre ellas concentran el 42%. Por ello, en la provincia del Guayas existe la necesidad de plantear alternativas para lograr proveer de una vivienda digna se incrementa.

Por lo anteriormente referido, se considera la importancia que posee esta investigación, porque se muestra una nueva alternativa para solucionar un problema social como lo es la reutilización de los envases Tetra Pak, como nueva posibilidad de uso de herramientas y materiales de construcción en cubiertas de techo. Por tal motivo, este estudio tiene como objetivo general analizar el uso de Tetra Pack como elemento constructivo en el área rural de la provincia del Guayas- Ecuador.

Para ello, es necesario describir la técnica de procesamiento de Tetra Pack reciclado para elaborar una cubierta de techo; construir un prototipo de cubierta de techo realizado con Tetra Pack reciclado, determinar las características técnicas del prototipo de cubierta de techo realizado con Tetra Pack reciclado y contrastar las características técnicas del Tetra Pack reciclado usado en cubiertas con lo establecido en las normas para cubiertas de techo.

Esta investigación servirá como guía para los fabricantes de cubiertas en el Ecuador de manera que puedan producir una cubierta de material reciclado; y para los profesionales de la construcción a quienes se les brindará una nueva alternativa de elementos constructivos.

## **Materiales y métodos**

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección y análisis de los datos para cumplir con el objetivo general y poner a prueba hipótesis hechas previamente; este enfoque confía en los datos numéricos, el conteo y el uso de la estadística para el establecimiento de los patrones exactos de comportamiento de una población (Hernández y Mendoza, 2018). Del mismo modo, se rige por una metodología deductiva, según Behar (2008), se aplica debido a que, mediante las normativas aplicables, normas técnicas y demás documentos relacionados con el material de Tetra Pak permiten la deducción de conclusiones que establezcan si es o no adecuada la utilización de este tipo de materiales en el campo de la construcción.

El tipo de investigación es descriptiva, según Hernández y Mendoza (2018), ya que se analizó las características que debe contener el techo de una vivienda para la zona rural de la provincia del Guayas; mediante el uso de Tetra Pak reciclado; a partir de la cual, se desarrolló el diseño de un prototipo de techo a base de este material y compararlo con el tradicional de Chapas de metal de las mismas.

A su vez, también es de tipo experimental (Behar, 2008), ya que se llevaran a cabo ensayos para determinar las propiedades del Tetra Pak y además se desarrollará un prototipo para simular la aplicación de este material en la construcción de techos y, finalmente es de tipo correlacional (Hernández y Mendoza, 2018), ya que se va a realizar una comparación de los resultados obtenidos del prototipo y de las propiedades del producto final elaborado con las propiedades de los techos elaborados mediante los procesos tradicionales que generalmente se utilizan en la provincia del Guayas.

Se toma en cuenta las condiciones climatológicas y ambientales de la zona rural de la provincia de Guayas, así como también se analiza los resultados de investigaciones previas, con relación a la temática de aplicación de material reciclado Tetra Pack en construcción. Esto se hace con la finalidad de obtener una guía metodológica para disminuir los rangos de error en el diseño del prototipo, considerando los métodos e instrumentos que mejor se ajusten a la presente investigación.

Del mismo modo, se definieron las características que debe contener el techo para vivienda, y se llevó a cabo los respectivos análisis de cada característica requerida. Esto permite corroborar si el material reciclado Tetra Pak puede cumplir la funcionalidad de protector. Los ensayos que se desarrollaron fueron: para calcular la masa del tablero de Tetra Pak, para estimar la densidad de Tetra Pak, para deducir la flecha máxima, para determinar el gradiente térmico, la resistencia a la flexión y el contenido de humedad.

Estos ensayos fueron aplicados a las láminas desarrolladas con material Tetra Pak reciclado, las mismas funcionan como muestra para desarrollar un prototipo de teja (techo). A continuación, se hizo un proceso de adaptabilidad del prototipo, el cual fue expuesto a una simulación de las condiciones meteorológicas y climáticas de la provincia del Guayas, y en torno a ello se aplicaron los ajustes y modificaciones necesarias. Se aplicó la técnica de observación, por medio de la cual se evalúa si el prototipo cumple con los requerimientos necesarios para ser aplicado en la práctica. La población de estudio son todas las láminas de cubiertas de Tetra Pak de espesor de 50 mm, 60 mm y 100 mm para las zonas rurales de la provincia de Guayas. En relación a la muestra, es no estadística, seleccionada de manera intencional por los investigadores. Los criterios para la selección de ella fueron los espesores más utilizados en el mercado para cubiertas y el factor limitante fue el aspecto económico, el cual dificultó tener una mayor cantidad de muestra. Por lo que se tomó en consideración el prototipo a diseñar y construir, de dimensiones de 1,00 x 1,00 m<sup>2</sup>, con cuatro puntos de apoyo con tubos cuadrados de acero de 1,5 a 2 pulgadas.

La lámina de Tetra Pak se obtuvo del catálogo del mercado ecuatoriano, donde los criterios de selección son las características y propiedades que ya están comprobadas a nivel de laboratorio realizados por los fabricantes. Las características por evaluar son: térmicas, acústicas, peso, flexibilidad, resistencia a climas húmedos y con fuertes cambios de temperatura, punto de fusión y cambio de gradiente térmico.

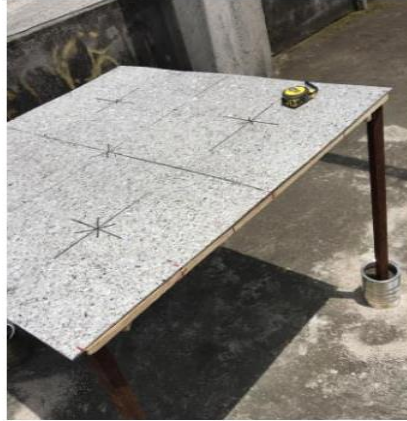
Para la elaboración de láminas de Tetra Pak se procedió de acuerdo a las recomendaciones de ECUAPLASTIC (2021):

- Se recolectó envases de Tetra Pak suficientes para elaborar las tres láminas necesarias para los prototipos.
- Se separó los componentes de los envases Tetra Pak en sus tres componentes cartón, aluminio y plástico, para posteriormente lavarlos y secarlos al sol de manera indirecta.

- Después se trituró el material reciclado hasta generar fibras, las cuales se empaquetaron en moldes de plástico, para evitar que se desprendan o las fibras se separen.
- Los moldes se prensaron a una temperatura de 180°C y con una presión máxima de 1500 PSI durante 20 minutos. A partir de este proceso, los componentes del Tetra Pak se funden formando la mezcla entre el aluminio, plástico y cartón.
- Posteriormente se colocaron las planchas en agua fría para que tomen dureza y rigidez.
- Para la elaboración del Tetra Pak se obtuvo un tablero ECOPAK para exteriores de dimensiones 2,44 m x 1,22 m de la empresa ECUAPLASTIC SOLUTIONS S.A. BIC, el cual se adecuó a las dimensiones de 1,025m x 1,028m con espesores de 0,50 cm; 0,60 cm y 1,00 cm, con lo cual se fabricaron los tres prototipos. Para ello, se requirieron los siguientes materiales: Flexómetro o Calibrador (pie de rey); 4 apoyos de hierro de 92 cm de altura; 4 latas de aluminio medianas y Cemento.
- Finalmente, se ubicaron las láminas con dimensiones de 1,025m x 1,028m en sus tres espesores ya descritos, el tablero se ubicó sobre cuatro columnas de hierro, con una altura de 92 cm cada una, las cuales contaban con un soporte elaborado con envases de aluminio y rellenos de hormigón, para simular una mesa para lograr aplicar los pesos correspondientes y calcular la flecha máxima de cada lámina, obteniendo el producto final como se observa en la figura 1.

Fuente: Elaboración propia, 2022





**Figura 1:** Prototipo de lámina cubierta con Tetra Pak

Para el ensayo para calcular la masa del tablero de Tetra Pak, se calculó mediante la diferencia entre el peso en conjunto del investigador y la cubierta, y el peso de únicamente el investigador. Para el ensayo de punto de flecha máxima se fundamentó en la norma ASTM D143-94 “Determinación de la resistencia a flexión para madera” (No existe norma nacional que regularice este tipo de material), con la cual se determinó la carga máxima que soportó el tablero de Tetra Pak hasta el punto de resistencia máxima. Los materiales empleados fueron: 4 discos de 2,5 kg o 2 discos de 5 kg; 6 adoquines de hormigón con pesos desde 6,8 kg a 8,7 kg y una tablilla de madera, como se observa en la figura 2.

Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 2:** Discos y adoquines utilizados en los ensayos

Se hicieron seis ensayos para determinar la flecha máxima para cada una de las tres láminas de Tetra Pak. Los ensayos se realizaron dividiendo el Tetra Pak en cuatro cuadrantes y se colocó

marcas en el centro de masa de cada una de ellas para simular una carga uniformemente. Para la identificación de los centros de masa, el tablero fue dividido en cuatro cuadrantes, marcando el centro de masa de cada uno de ellos y el centro de masa general del tablero. En cada punto marcado se aplicó la carga distribuida a lo largo de su superficie hasta que la lámina falle. Las cargas aplicadas en kilogramos fueron: 10; 20; 35,2; 43,2; 68,3; 81,9 y 102.

Los pesos se distribuyeron de la manera siguiente:

- En la primera carga de 10 kg, se aplicaron cuatro discos de 2,5 kg cada uno, distribuidos en cada cuadrante de la cubierta plana de Tetra Pak, como se muestra en la figura 3.

Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 3:** Distribución de la carga de 10kg en las láminas de Tetra Pak

- Para el segundo caso se aplicó una carga de 20 kg, distribuidos en las láminas de la siguiente manera: cuatro discos de 2,5 kg y dos discos de 5 kg, colocados el centro de masa general del tablero, como se exhibe en la figura 4.

Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 4:** Distribución de la carga de 20kg en las láminas de Tetra Pak

- Para el tercer caso se aplicó una carga de 35,2 kg. Las cargas se distribuyeron usando cuatro discos de 2,5 kg en cada centro de masa de cada una de los cuadrantes; dos de 5 kg y dos adoquines de concreto de 6,8 kg y 8,4 kg respectivamente.
- Para el cuarto caso correspondiente a la carga de 43,2 kg, se emplearon cuatro discos de 2,5 kg, dos discos de 5 kg y tres adoquines de concreto.
- En un quinto caso se aplicó una carga de 68,3 kg, fraccionadas las cargas con cuatro discos de 2,5 kg, en sus centros de masa, dos discos de 5 kg y seis adoquines de concreto, como se muestra en la figura 5. De igual manera se utilizaron discos y adoquines para lograr las cargas de 81,9 kg y 102 kg respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 5:** Distribución de la carga de 20kg en las láminas de Tetra Pak

En la medición de la flecha máxima de la cubierta de Tetra Pak ya establecida, se integró una tabla de madera de 1cm de peralte, la cual no permite el pandeo en la periferia ubicada en  $x=0,50m$   $y=0,50 m$ , y se acerca a la correcta instalación de techos del material usado. Esta tabla no se encuentra cargada, y su única carga es su peso propio.

Además, para lograr establecer una línea completamente vertical y medir el valor de la deflexión correcta del tablero Tetra Pak, se utilizó una plomada, la cual emplea la gravedad para establecer una línea recta.

Luego de establecer el procedimiento para la medición de la flecha máxima de la cubierta en estudio, se realizó una modelación en el programa ETABS (programa empleado para el análisis estructural y el dimensionamiento de estructuras). Con el uso de esta herramienta se modeló el prototipo utilizando las mismas dimensiones y características de los soportes y de las láminas de Tetra Pak (1,025 m x 1,028 m), con los espesores en estudio.

Para el proceso de simulación se utilizó un módulo de elasticidad 1100 MPa, el cual es un valor medio entre los proporcionados en la literatura de ensayos realizados de este material y similares. Para realizar el cálculo de la densidad a cada uno de los tableros, para ello ya obtenida la masa de cada uno de ellos, se procede a calcular el volumen del mismo.

Para eso, se tienen las dimensiones de los tableros determinadas con un flexómetro y el espesor del mismo se midió con el uso de un calibrador pie de rey. Se determinó a partir de las secciones de 1,025m x 1.028m y un espesor de 0,005 m, resultando un volumen de  $0,0052685 m^3$ . Con los datos antes medidos, se procedió al cálculo de la densidad aplicando la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{m}{v} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,  $\delta$  se refiere a la densidad,  $m$  a la masa del tablero y  $v$  al volumen del mismo. Donde se deben reemplazar cada uno de los datos para obtener cada una de las densidades del mismo.

En relación al ensayo de resistencia a la flexión, se utilizó una prensa hidráulica, la aplicación de la carga progresiva es fundamental para poder observar cuando el material empieza una deformación no proporcional a la carga. Para calcular el módulo de elasticidad de acuerdo a este ensayo, es necesario basarse en el concepto de curva: carga vs alargamiento y curva esfuerzo vs. deformación, usando principios como la Ley de Hooke, esfuerzo y deformación. Para ello, se utilizaron las ecuaciones 2 y 3, y la figura 6:

$$\epsilon = \frac{\xi}{L_0} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

$\epsilon$  = Deformación,

$\zeta$  = Alargamiento, y

$L_0$  = Longitud inicial

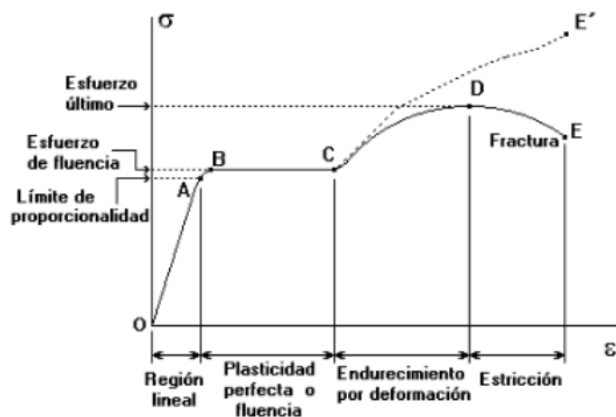
$$F = K * x \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

$F$  = fuerza,

$K$  = constante, y

$x$  = alargamiento



**Figura 6:** Curva Esfuerzo vs Deformación

Nota: La figura 6, muestra los puntos de límite de proporcionalidad, esfuerzo de fluencia y esfuerzo último. Recuperado de “Prototipo de cubiertas ecológicas en base de Tetrabrik y plástico (PET) reciclados para el área de la construcción”, Flores, 2020.

Según los principios con lo que se elabora una curva de esfuerzo vs. deformación se puede llegar a obtener el módulo de elasticidad que es el parámetro de interés de la investigación. La ecuación general de una línea recta está dada por la ecuación 4:

$$y = m * x \quad \text{Ecuación 4}$$

Remplazando los valores según la curva esfuerzo deformación llegamos a obtener la siguiente ecuación:

$$\sigma = E * \epsilon$$

Ecuación 5

Dónde:

$\sigma$  = *esfuerzo*,

$E$  = módulo de elasticidad, y

$\epsilon$  = deformación.

Teniendo claro la ecuación, mediante ensayos con cargas progresivas se determina el punto donde se termina el límite elástico y comienza la zona de cadencia. Este punto es importante ya que va a indicar cuál es la carga máxima que soporta los prototipos, sin llegar a tener una deformación permanente con diferentes dosificaciones de materiales del Tetra Pak.

Para realizar el ensayo de contenido de humedad, se usaron dos planchas Tetra Pak, de las cuales se registró su peso en seco, para posteriormente sumergirlas en agua por 24 horas y determinar el peso y su porcentaje de absorción de agua; esta propiedad del material va a depender de la dosificación.

Para el ensayo de gradiente térmico, se escalará para poder obtener valores que se acerquen a la realidad. Las mediciones se realizaron en un ambiente ventilado y alturas de entrepiso simulando el exterior de ambientes tropicales donde se aplicará este tipo de techo. Se tomó una medida en la mañana y otra al medio día utilizando el termómetro digital. Y se utiliza la siguiente ecuación:

$$\delta = Tf - Ti$$

Ecuación 6

Dónde:

$\delta$  = Gradiente térmico

$Tf$  = Temperatura final

$Ti$  = Temperatura inicial

### **Análisis y discusión de los resultados**

Los resultados se describen luego de medir la masa del tablero de Tetra Pak, de acuerdo al procedimiento señalado se observa en la tabla 1:

**Figura 7:** Masa de los tableros de Tetra Pak

<b>Lámina</b>	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Masa (kg)</b>
<b>1</b>	0,50	6,60
<b>2</b>	0,60	9,21
<b>3</b>	1,00	13,72

Fuente: Elaboración propia, 2022

Luego del ensayo de la flecha máxima, se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra en la tabla 2, para las distintas láminas fabricadas de Tetra Pak, y con sus diferentes espesores.

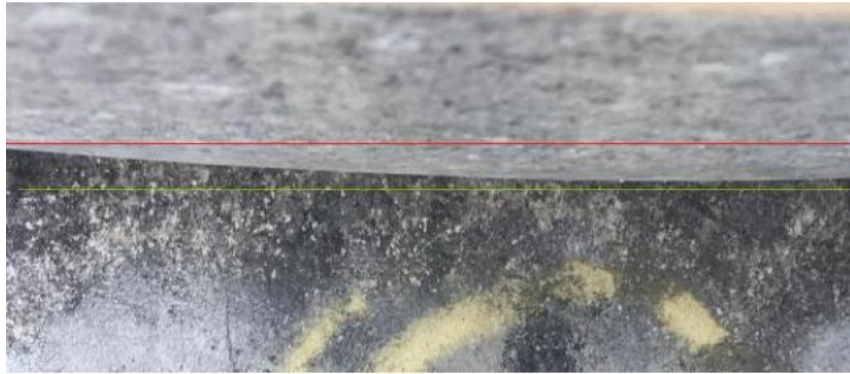
**Figura 8:** Comportamiento de la flecha máxima en lo tablero de Tetra Pak

<b>Carga (Kg)</b>	<b>Flecha máxima en cada tablero (mm)</b>		
	<b>0,50 cm</b>	<b>0,60 cm</b>	<b>1,00 cm</b>
<b>10</b>	3,00	2,50	1,50
<b>20</b>	7,00	6,00	4,00
<b>35,2</b>	18,00	16,00	9,00
<b>43,2</b>	27,00	24,00	13,00
<b>68,3</b>	40,00	35,00	20,00
<b>81,9</b>	---	40,00	30,00
<b>102</b>	---	---	41,00

Fuente: Elaboración propia, 2022

En cuanto, a la lámina de espesor de 0,50 cm con un sobre carga de 68,3kg y un peso propio de 6,60 kg, alcanzó una deflexión de 40 mm, y se dejó de ensayar ya que, el material no colapsa, sin embargo si presenta fallas de deformación, evidenciando que sobrepasó su valor de módulo de elasticidad, como se evidencia en la figura 7.

Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 8:** Deformación de la plancha de Tetra Pak aplicando 68,3 kg

Con respecto a la lámina de espesor de 0,6 cm, su deflexión máxima antes del punto de rotura alcanzó un peso de 81,9 kg, registrando una deflexión de 40 mm, como se describe en la tabla 2. La tercera lámina de espesor 1,00 cm, alcanzó una deflexión máxima de 41 mm con un peso de 102 kg. En la figura 8, se revelan las fallas que presentaron las láminas de tetra Pak, luego de la aplicación de cargas.

Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 9:** Fallas de las láminas de Tetra Pak

Para los resultados de la modelación en ETABS, se observan en la tabla 3. Esta simulación se realizó para todos los casos expuestos anteriormente con sus diferentes cargas.



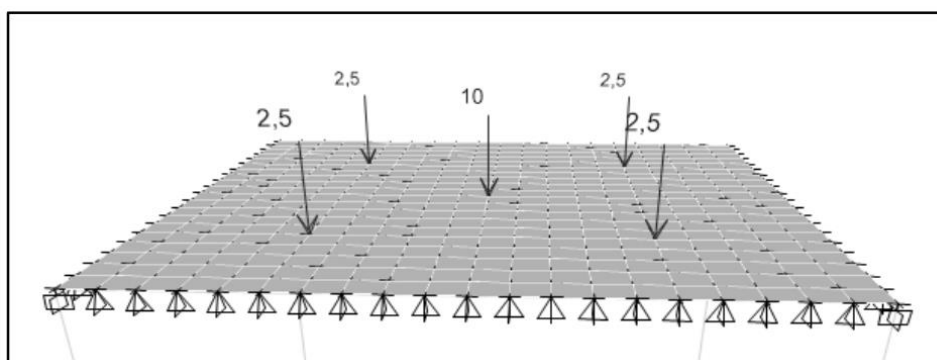
**Figura 10:** Comportamiento de la flecha máxima en los tableros mediante la modelación en ETABS

Carga (Kg)	Flecha máxima en cada tablero (mm)		
	0,50 cm	0,60 cm	1,00 cm
10	3,09	2,78	1,54
20	7,064	6,35	3,53
35,2	18,313	16,48	9,15
43,2	28,255	25,43	14,14
68,3	41,205	37,08	20,69
	Elementos Finitos		
	44,052	39,64	22,03
81,9	----	42,61	33,04
102	----	----	45,82

Fuente: Elaboración propia, 2022

La figura 9, muestra la aplicación de 20 kg de carga en la simulación de las láminas de Tetra Pak, en donde se colocaron las cargas del mismo modo como se realizó en la realidad, en los distintos casos.

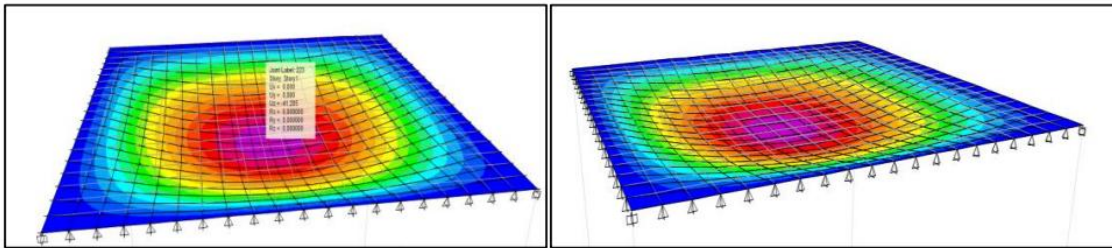
Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 11:** Ubicación de las cargas puntuales con 20 kg

En la figura 10, se presenta el caso 5, es decir, la simulación con carga de 68,3 kg, donde se aplican cargas de 2,5 kg distribuidas uniformemente en la superficie de la plancha, y con una carga extra en el centro de gravedad, sumando un total de 68,3 kg.

Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 12:** Deflexión de la plancha de Tetra Pak con 68,3 kg, simulada en ETABS

Como se observó en la tabla 3, los materiales tienen diferentes comportamientos bajo distintas fases de carga, y en el comportamiento elástico, la carga es proporcional a la deformación, es decir que cuando el material es cargado en fases, el comportamiento es lineal durante este trayecto; la constante resultante se la conoce como módulo de elasticidad. Cuando se supera esta fase, se llega a un punto de quiebre donde ya no es proporcional la deformación con la carga; en este punto se puede observar que deja de ser una línea recta se torna una curva que tiende a tener una orientación horizontal, la carga no aumenta, pero la deformación va a seguir aumentando, a este estado se le conoce como estado plástico (elastoplástico) del material.

En el caso del análisis por elementos finitos, como también se expone en la tabla 3, las cargas se distribuyeron uniformemente a lo largo por metro cuadrado sobre toda la superficie de la plancha, con una carga total de 68,3 kg, luego de 81,9 kg y finalmente de 102 kg. Este método fue aplicado para comprender la deformación en el techo de Tetra Pak a una escala menor, y además permite representar diferentes escenarios, ya que la cubierta de este material se divide en un número finito de partes. Gracias a estas divisiones, el problema se vuelve más específico y permite que el software lo resuelva con más exactitud.

Así, lo que se pretende lograr con este método es analizar un elemento estructural a una escala menor a lo convencional para así identificar áreas de posibles concentraciones de esfuerzos, deformaciones o fatiga, que permitan la discretización de elementos finitos con comportamientos y propiedades definidas. Los elementos finitos están conectados entre sí por nodos; mientras que el conjunto de todos los nodos se conoce como malla. La precisión de este método de análisis depende de la cantidad de nodos y elementos, del tamaño y los tipos de elementos por malla. Por esto mismo, entre más divisiones tenga, más precisos serán los resultados.

En relación a los resultados del ensayo de densidad realizados a los tableros se muestran en la tabla 4:

**Figura 13:** Densidades de cada una de las láminas de Tetra Pak

Espesor (cm)	Tablero	Magnitudes Físicas tablero		Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) $\delta$
		Masa (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )	
0,50		6,60	0,0052685	1252,72
0,60		9,216	0,0063222	1457,77
1,00		13,72	0,010537	1302,07

Fuente: Elaboración propia, 2022

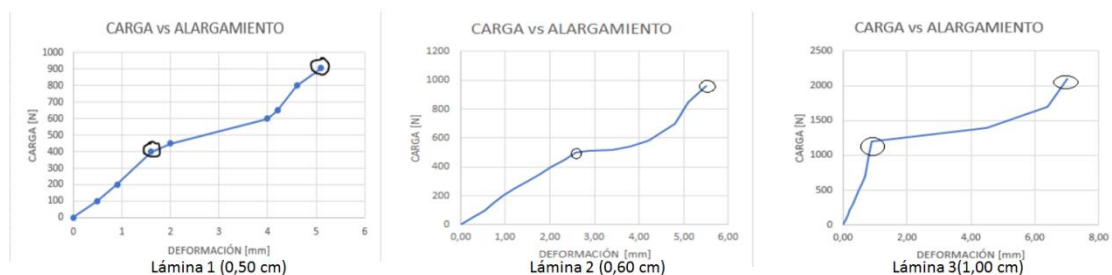
Los resultados del ensayo de resistencia a la flexión registrada para cada lámina se revelan en la tabla 5. De igual manera en la figura 11, se observan las gráficas Carga vs Deformación, donde un primer punto de cada gráfica significa que la carga no aumenta proporcionalmente, pero la deformación sigue creciendo, a este punto se le llamará cadencia. Y finalmente al segundo punto de cada gráfica marcado con un círculo es la máxima carga soportada por el prototipo antes de rotura o fallo.

**Figura 14:** Resistencia a la flexión de las láminas de Tetra Pak

Tablero	Espesor Tablero (cm)	Carga (N)
1	0,50	905
2	0,60	960
3	1,00	2010

Fuente: Elaboración propia, 2022

Fuente: Elaboración propia, 2022



**Figura 15:** Grafica de Carga vs Deformación de cada lamina de Tetra Pak

El módulo de elasticidad obtenido de las láminas de estudio se presenta en la tabla 6:

**Figura 16:** Módulos de elasticidad de las láminas de Tetra Pak

<b>Tablero</b>	<b>Espesor tablero (cm)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>
<b>1</b>	0,50	1100
<b>2</b>	0,60	1320
<b>3</b>	1,00	1950

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla 7, se muestran los resultados del contenido de humedad de las láminas de Tetra Pak.

**Figura 17:** Contenido de humedad de las láminas de Tetra Pak

<b>Tablero</b>	<b>Espesor tablero (cm)</b>	<b>Peso seco (Kg)</b>	<b>Peso húmedo (kg)</b>	<b>% Absorción agua</b>
<b>1</b>	0,50	6,60	6,80	3,03
<b>2</b>	0,60	9,21	9,40	2,021
<b>3</b>	1,00	13,72	14,10	2,69

Fuente: Elaboración propia, 2022

A continuación, en la tabla 8 se exhiben los resultados del gradiente térmico de las tres láminas de Tetra Pak.

**Figura 18:** Gradiente térmico de las láminas de Tetra Pak

<b>Tablero</b>	<b>Espesor tablero (cm)</b>	<b>Temperatura inicial (°C)</b>	<b>Temperatura final (°C)</b>	<b>Gradiente térmico (°C)</b>
<b>1</b>	0,50	20	24	4
<b>2</b>	0,60	24	28	4
<b>3</b>	1,00	22	27	5

Fuente: Elaboración propia, 2022

Para finalizar, se hace una contrastación con otro material que se utiliza también para cubiertas de techo, como es el fibrocemento. En la tabla 9, se observa la comparación de la cubierta fabricada con Tetra Pak con las propiedades del fibrocemento según la norma NTE INEN 1320.

**Figura 19:** Comparación de las cubiertas Tetra Pak con otros materiales

Características	Lamina de Tetra Pak			Fibrocemento
	1	2	3	
<b>Espesor</b>	5mm	6mm	10mm	6mm
<b>1. Masa (kg)</b>	6,60	9,21	13,72	----
<b>2. Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1252,72	1457,77	1302,07	>1400
<b>3. Flecha máxima (mm)</b>	40	40	41	----
<b>4. Flexión - Módulo de elasticidad (MPa)</b>	1100	1320	1950	19613,3
<b>5. Gradiente térmico (°C)</b>	4	4	5	----
<b>6. Absorción de humedad (%)</b>	3,03	2,021	2,69	< 25

Nota: (--) Características que no se contempla en la norma. Fuente: Elaboración propia, 2022

Como se ha determinado en esta investigación, para los parámetros de densidad y porcentaje de humedad cumple con las normas INEN 1320; en cuanto a la flecha máxima y gradiente térmico no se pudo comparar debido a la inexistencia de estos parámetros en la norma, y el módulo de elasticidad del Tetra Pak no cumplió con el valor requerido. Por lo tanto, tomando en cuenta únicamente los tres parámetros que contempla la norma, se dice que las láminas de Tetra Pak cumplen con especificaciones técnicas en un 75%.

## Conclusiones

El proceso de fabricación de las láminas con Tetra Pak se considera relativamente sencillo, el cual consta de estas fases; clasificación, limpieza y secado, triturado, prensado, enfriamiento y corte. De estos, el único proceso que se considera complicado es el prensado, ya que es necesario el uso de una prensa mecánica. La construcción de los prototipos con las tres láminas prensadas de Tetra

Pak de diversos espesores fue un proceso sencillo, ya que se fabricó con materiales reciclables; estos tienen un costo aproximado de \$10 cada uno.

Las características técnicas analizadas en la presente investigación fueron ensayo de masa, densidad, flecha máxima, flexión, gradiente térmico y absorción de agua, de lo cual se puede concluir lo siguiente:

- En el ensayo de flecha máxima, la lámina que presentó el mayor valor fue la tercera de espesor de 1,00 cm, llegando a su etapa elastoplástica, donde se evidenció fallas en las láminas de Tetra Pak por separación de las fibras, es decir que a medida que se aumenta la carga, está ya no es proporcional la deformación.
- En el ensayo de flexión se determinó el módulo de elasticidad de las tres láminas, de las cuales la tercera con un espesor de 1,00 cm, presentó mayor módulo de elasticidad.
- La densidad disminuyó en el tablero 3, debido a que el prensado es menos eficiente, generando una menor cohesión dentro del material, por lo que la densidad descenderá.
- El porcentaje de absorción de humedad de los tres prototipos fue disminuyendo con respecto a un ascenso de la densidad, esto debido a que en el caso de que láminas presenten mayor densidad, estas poseen mayor espacio vacío para ser ocupado por agua.

Al final, se compararon los valores de las características técnicas obtenidas con la norma INEN 1320, la cual estipula los datos de las características del fibrocemento, de los cuales se puede mencionar que en el ensayo de flexión, el módulo de elasticidad de las láminas de Tetra Pak es mucho menor en relación a las cubiertas de fibrocemento, por lo que no se recomienda su uso en construcciones que suponen un gran esfuerzo ya que frente a altas cargas presenta grandes deformaciones longitudinales.

En cuanto al ensayo de flecha máxima no se pudo comparar con lo establecido en la norma ya que no se establece valor. Con respecto a la densidad, únicamente la lámina 1 y 3 cumplen con el valor estipulado en la norma, las cuales pueden ser usadas eficazmente, y según los ensayos de gradiente térmico, los resultados muestran que es ligeramente similar para las tres láminas de Tetra Pak. Finalmente, la primera y segunda lámina con espesores de 0,5 cm y 0,6 cm son las que cumplen con la mayor parte de los requisitos de la norma y puede presentar varios beneficios al usuario al momento de ser usada en la construcción.

## Referencias

1. ASTM D143-94 “Determinación de la resistencia a flexión para madera”. Copyright © ASTM International. <https://qdoc.tips/norma-astm-d143-pdf-free.html>
2. Behar, D. (2008). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. Bogotá: Editorial Shalom.
3. ECUAPLASTIC. (Noviembre de 2021). *ECOPAK Cubiertas y tableros ecológicos*. Obtenido de <https://www.ecuaplastic.com/index.php/productos/ecopak/14-productos/ecopak/76-cubiertas>
4. El Universo (2019). *Reciclaje de desechos electrónicos y envases Tetra Pak es impulsado por empresas privadas en Ecuador*. <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/05/17/nota/7334423/reciclaje-desechos-electronicos-envases-tetra-pak-es-impulsado/>
5. Flores, D. (2020). *Prototipo de cubiertas ecológicas en base de Tetrabrik y plástico (PET) reciclados para el área de la construcción*. Guayaquil: Universidad Laica Vicente Rocafuerte
6. Gallego, S., Guzmán Aponte, Á., & Buitrago Sierra, R. (2020). *Evaluation of Mechanical Properties of Composites Manufactured from Recycled Tetra Pak® Containers*. *Tecnura*, 36-46.
7. Gómez, M. y Fernández, L. (2017). *Determinación de los esfuerzos máximos y de cedencia del polialuminio*. <https://docplayer.es/97456598-Determinacion-de-los-esfuerzos-maximos-y-de-cedencia-del-polialuminio.html>
8. González, J. (2021). *El 42% del déficit de viviendas está en Guayas, Manabí y Los Ríos. El comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/deficit-viviendas-guayas-manabi-los-rios.html>
9. Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
10. Lara, M. (2016). *Evaluación de un Aislante Térmico y Acústico, Fabricado con Envase de Tetra Pack y Rollo Libre de Lana de Vidrio*. [http://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc/2921/Lara%20Engelhardt%2C%](http://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc/2921/Lara%20Engelhardt%2C%20)

20Mario\_Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20aislante%20t%C3%A9rmico%20y%20ac  
%C3%BAstico%20fabricado%20con%20envase%20de%20Tetra%20Pack%20y%20  
rollo%20libre%20de%20lana%20de%20vidrio.pdf?sequence=1&isAllowed=y

11. Mere, R. (2014). Elaboración y evaluación de placas aglomeradas a base de polietileno de alta densidad reciclado y envases de tetra pak. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2919/MTmejura025.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
12. Mora, J. (2017). Los libros, aporte bibliográfico, las bellas artes e investigaciones históricas. Nariño: Pasto.
13. NTE INEN 1320:2014. Láminas Onduladas De Asbesto Cemento. Requisitos Norma Técnica Ecuatoriana. [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_1320.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1320.pdf)
14. Ocampo, L. (2021). El déficit de vivienda en Ecuador, no solo es un problema numérico sino de calidad. El Telégrafo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/actualidad/44/deficit-vivienda-ecuador-problema-numerico-calidad>
15. Prefectura del Guayas (S/f.). Demografía. <https://guayas.gob.ec/demografia/>