

Revista EDUCATECONCIENCIA.

Volumen 31, No. 39

ISSN: 2007-6347

E-ISSN: 2683-2836

Periodo: abril-junio

Tepic, Nayarit. México

Pp. 80-99

DOI: <https://doi.org/10.58299/edu.v31i39.676>

Recibido: 21 de marzo de 2023

Aprobado: 4 de abril de 2023

Publicado: 30 de junio de 2023

Envases Tetra Pak® de desecho y sus aplicaciones

Waste Tetra Pak® packages and their applications

Autores

Gonzalo Martínez Barrera

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA); Toluca, Estado de México, México.

gonzomartinez02@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2755-9042>

Carlos Uriel Escobar Campos

Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA); Toluca, Estado de México, México.

cescobar240@alumno.uaemex.mx

<https://orcid.org/0009-0006-3966-4404>

Miguel Martínez López

Universidad Politécnica del Valle de Toluca, División de Ingeniería Industrial e Ingeniería en Energía; Toluca, Estado de México, México.

oroshi_mml@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3800-9719>

Envases Tetra Pak® de desecho y sus aplicaciones

Waste Tetra Pak® packages and their applications

Gonzalo Martínez Barrera

*Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química,
Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA);
Toluca, Estado de México, México.
gonzomartinez02@yahoo.com.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2755-9042>*

Carlos Uriel Escobar Campos

*Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química,
Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA);
Toluca, Estado de México, México.
cescobarc240@alumno.uaemex.mx
<https://orcid.org/0009-0006-3966-4404>*

Miguel Martínez López

*Universidad Politécnica del Valle de Toluca, División de Ingeniería Industrial
e Ingeniería en Energía; Toluca, Estado de México, México.
oroshi_mml@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3800-9719>*

Resumen

Con el objetivo de dar a conocer el valor agregado que pueden tener los materiales utilizados en los empaques para la conservación de alimentos, los cuales son difíciles de reciclar y que producen contaminación al ser arrojados en rellenos sanitarios, este artículo se enfoca en estudiar las áreas científicas en las que se han utilizado estos materiales, que involucran al polietileno, celulosa y aluminio. La metodología se centró en la identificación de investigaciones científicas que han utilizado estos materiales y que muestran resultados positivos cuando son aprovechados de manera eficiente. Los resultados presentados en el artículo demuestran que los envases Tetra Pak® de posconsumo poseen una gran versatilidad cuando se destinan para diferentes áreas científicas de estudio. Lo que permite concluir que los envases Tetra Pak® no deben considerarse como productos desechables de un solo uso.

Palabras clave: ciencia de materiales, envases multicapa, materiales compuestos, reciclamiento, Tetra Pak®.

Abstract

This article focuses on the study of the scientific areas in which the component materials of Tetra Pak® packages have been used, including polyethylene, cellulose and

aluminum. The aim is to raise awareness of the added value of the materials used in food preservation and packaging, as they are known to be difficult to recycle and produce contamination after landfilling. The methodology focused on identifying scientific research that has used these materials and has shown positive results when used efficiently. The results demonstrate that Tetra Pak® post-consumer packages have great versatility whenever they are used in different scientific areas of study. It is concluded that Tetra Pak® packages should not be considered as single-use disposable materials.

Keywords: composite materials, materials science, multilayer packaging, recycling, Tetra Pak®.

Introducción

Situación problemática

Los envases multicapa, utilizados para contener y transportar líquidos y alimentos sólidos, después de su vida útil son desechados en su mayoría al medio ambiente, generalmente en rellenos sanitarios. En México, la tasa de reciclaje de estos envases multicapa es baja (30 %), esto debido, en parte, a las dificultades que se presentan en la separación de sus componentes: el polietileno, la celulosa y el aluminio. Los procesos de hidropulpeo y pirólisis son los más utilizados para el reciclamiento, pero son costosos y poco rentables para micro o medianas empresas (Nieves-Flores, 2015).

Antecedentes

Con la necesidad de conservar productos alimenticios durante tiempos prolongados sin la necesidad de utilizar procesos de refrigeración; los envases Tetra Pak® han logrado posicionarse a nivel mundial como el material más utilizado para este fin (Salazar-Jurado *et al.*, 2021).

El concepto del empaque para la leche líquida nace en la década de 1940. La operación se basaba en formar un tubo continuo y llenarlo con un chorro de leche. El tubo era retorcido dos veces en ángulo recto, se sellaba térmicamente y se cortaba del tubo original en los sellos; dando como resultado un tetraedro. A este empaque se le denominó con el nombre de Tetra Classic Aseptic (Figura 1). Además de ser una operación continua, se lograba un máximo de higiene en el envasado, mediante la cual la leche no formaba espuma putrefacta. Durante el periodo de 1943 a 1950, el ingeniero sueco Ruben Rausing, vio el potencial de este envase en un momento en el que el mercado alimenticio en su país

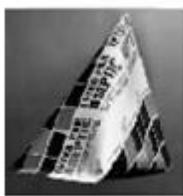
estaba compuesto casi en su totalidad por pequeños minoristas. La leche se adquiría directamente con el lechero local, quien dosificaba la leche sin tener control sobre el volumen.

Años después, se desarrolló el proceso para recubrir el papel con el polietileno. En este proceso el polietileno se fundía entre un par de rodillos calentados, a través de los cuales pasaba el papel. La distancia entre los rodillos determinaba el espesor de la película plástica (Robertson, 2021).

Para el año 1955, el proceso fue actualizado. A partir de este año, el polietileno era extruido en forma de película delgada y mediante el uso de temperatura y presión se lograba que el polietileno se adhiriera al papel. En este proceso, el espesor de la película era determinado por el tamaño de la boquilla del extrusor y la velocidad. El éxito no llegó sino hasta mediados de la década de 1960, con el desarrollo del envase en forma de ladrillo conocido como Tetra Brik® (Figura 1), el cual facilitaba y optimizaba la distribución del producto; adicionalmente se introdujo el envasado aséptico que permite extender la vida del producto sin la necesidad de contar con un sistema de refrigeración para la distribución. Esta innovación fue de gran aceptación en los países en vías de desarrollo, ya que la mayoría de los hogares no contaban con sistemas de refrigeración (Jones *et al.*, 1982).

Figura 1

Envases Tetra Classic Aseptic® y Tetra Brik®



Tetra Classic Aseptic



Tetra Brik

Nota. Jones (1982).

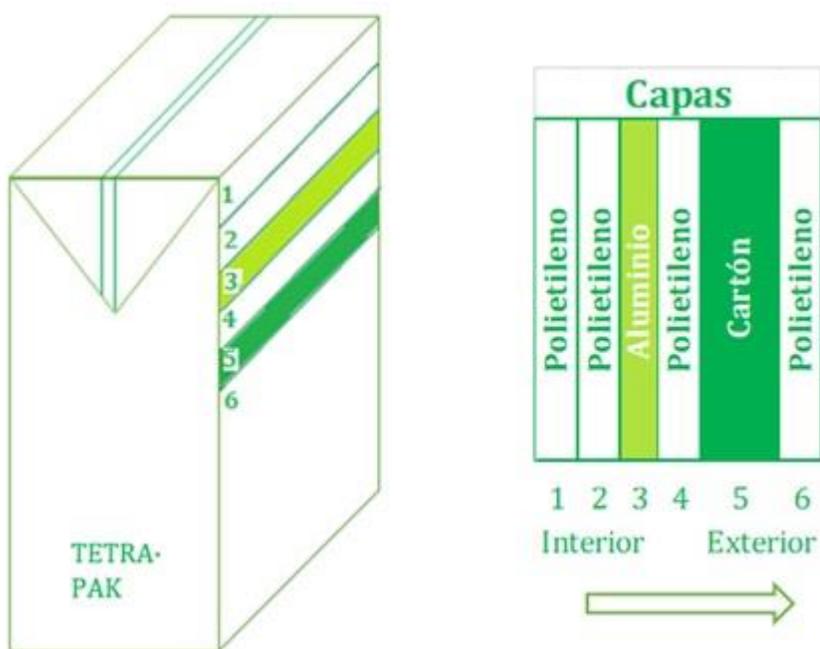
Los envases multicapa Tetra Pak® contienen seis capas de tres diferentes materiales, cuatro de ellas de polietileno de baja densidad, las cuales representan el 20 %,

una capa de cartón (75 %) y una capa de aluminio (5 %) (Salazar-Jurado *et al.*, 2021), como se muestra en la Figura 2. La función de cada una de las capas se enlista a continuación:

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

Figura 2

Composición de envases Tetra Pak®.



Nota. Elaborado a partir de Dölle & Kavin-Chinnathambi-Jeeva (2022).

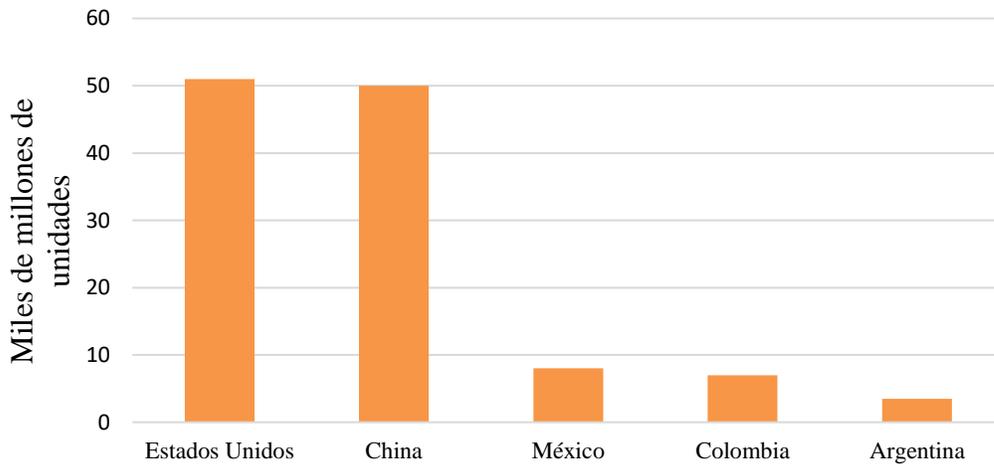
Producción mundial de envases Tetra Pak®

Anualmente se producen 190 mil millones de envases a nivel mundial, de los cuales solo el 26 % es reciclado (Salazar-Jurado *et al.*, 2021). En la Figura 3 se puede observar que los dos países con mayor producción de envases Tetra Pak® en el año 2020 fueron

Estados Unidos y China, con 50 mil millones de envases producidos, mientras que, en México se produjeron 8 mil millones de envases.

Figura 3

Producción de envases de Tetra Pak® en el año 2020.



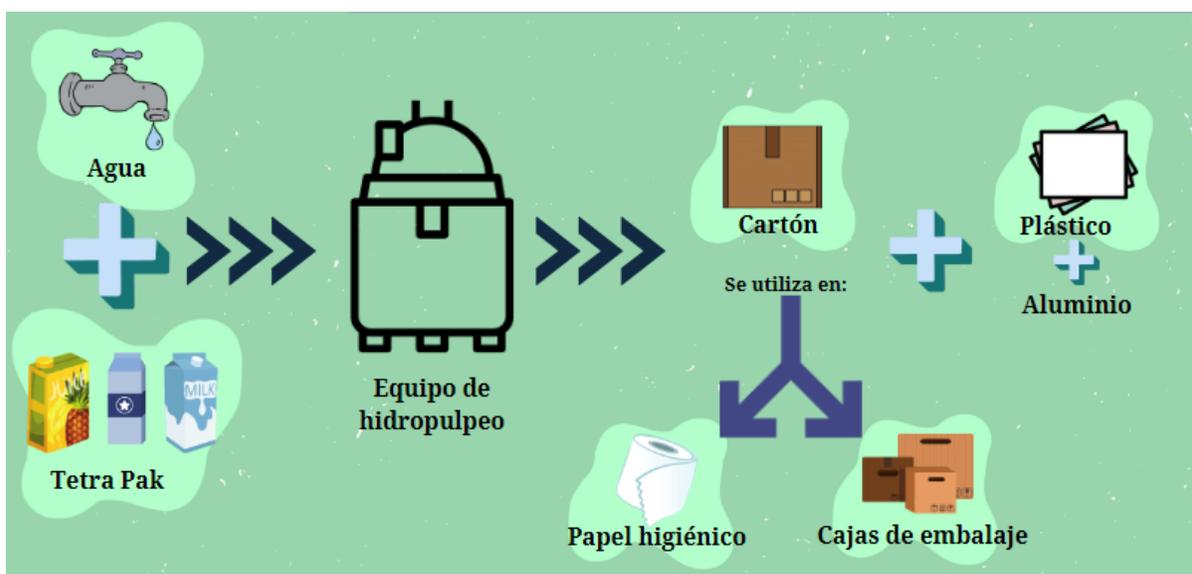
Nota. Elaborado a partir de Dölle & Kavin-Chinnathambi-Jeeva, (2022).

Reciclamiento de envases Tetra Pak®

Los materiales que no son reciclados se destinan a los rellenos sanitarios, causando graves problemas de contaminación. Para su reciclamiento se han reportado dos procesos: el hidropulpeo y la pirólisis, que son los más populares. El hidropulpeo es el más utilizado a nivel industrial, en este intervienen técnicas hidráulicas para la separación de los componentes. El proceso consiste en introducir los envases Tetra Pak® en agua a temperatura ambiente en una máquina (Figura 4), en la cual una hélice accionada por un motor eléctrico, gira de forma rotacional y tritura los envases en un tiempo de entre 30 y 45 minutos. En este tiempo el cartón absorbe el agua y se forma la pulpa, la cual se separa del polietileno y el aluminio (conocido como polialumnio). Cabe destacar que este proceso requiere de un riguroso control de limpieza; ya que las impurezas pueden causar daños importantes en las cuchillas de la hélice (Posada & Pazmiño, 2016).

Figura 4

Proceso de Hidropulpeo.



Nota. Elaboración propia a partir de Dölle & Kavin-Chinnathambi-Jeeva, (2022).

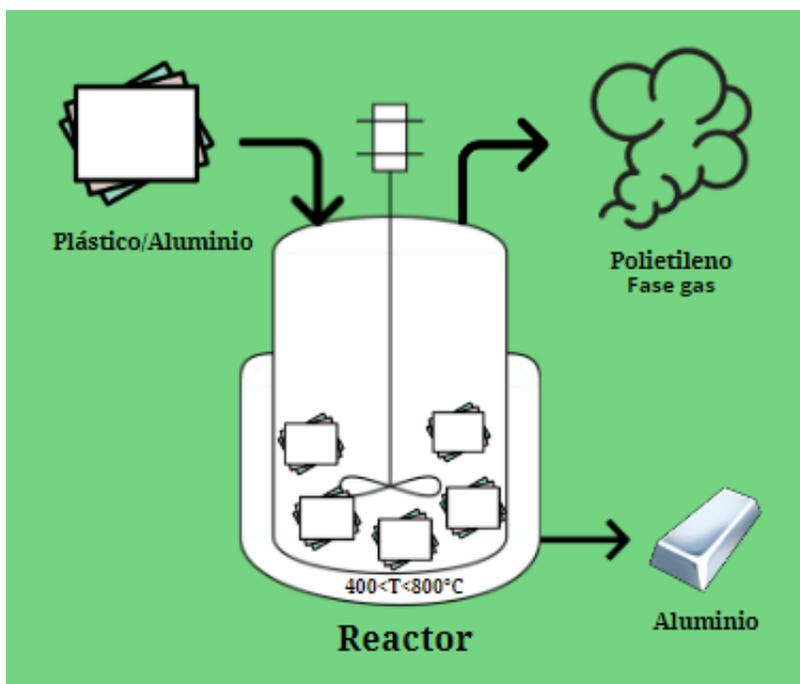
El segundo proceso es la pirólisis, que consiste en la degradación térmica de los componentes de los envases Tetra Pak®. Este proceso depende de varios factores como son: tiempos de reacción, velocidades de calentamiento, presión, presencia de gases, reactivos, catalizadores, humedad y elementos tóxicos, entre otros. Dentro de las ventajas de la pirólisis se encuentran la capacidad para manejar desechos plásticos mezclados y contaminados, y no causar la contaminación del agua, aunque no es considerada una tecnología verde (Korkmaz *et al.*, 2009).

La pirólisis de los plásticos se lleva a cabo a temperaturas entre 400 °C y 800 °C que permiten descomponer estructuras macromoleculares en moléculas más pequeñas; con lo cual se obtiene una amplia gama de hidrocarburos, sin emisiones de sustancias tóxicas o gases nocivos. En el reactor donde se lleva a cabo la pirolisis, se presentan múltiples reacciones que incluyen desoxigenación, aromatización, ciclación, oligomerización, alquilación, isomerización y/o polimerización. En el caso del polialuminio contenido en una cámara, después de aplicar temperatura (en ausencia de oxígeno), el polietileno se gasifica y se extrae para convertirlo en energía; mientras que el aluminio que permanece en

la cámara se transforma en copos; los cuales se enfrían y posteriormente se comprimen en lingotes. Estos son vendidos a la industria del aluminio y se convierten de nueva cuenta en materia prima, que es utilizada en la fabricación de nuevos productos, tales como automóviles, aviones o perfiles de ventanas, entre otros. Dicho proceso se ilustra en la Figura 5 (Kasar *et al.*, 2020).

Figura 5

Proceso de pirólisis de envases Tetra Pak®



Nota. Elaboración propia a partir de Dölle & Kavin-Chinnathambi-Jeeva, (2022)

Ambos procesos conllevan elevados costos de operación, lo que significa que sean medianamente rentables para las empresas dedicadas al reciclaje de materiales de desecho (Robertson, 2021). Habiendo mencionado los procesos de reciclaje y sus desventajas, surge la importancia de estudiar estos desechos y poder, en la medida de lo posible, reintegrarlos a la cadena productiva.

Objetivos

Estudiar las diferentes áreas de la ciencia en las que son utilizados los materiales constituyentes de envases Tetra Pak® posconsumo.

Conocer las aportaciones y el valor agregado de los materiales constituyentes de envases Tetra Pak posconsumo, en diferentes áreas de investigación.

Materiales y método

Participantes

La información consultada de los envases Tetra Pak® posconsumo se obtuvo de artículos de investigación publicados en revistas científicas indexadas.

Técnica e instrumentos

La búsqueda de los participantes se realizó mediante bibliotecas científicas digitales y editoriales con portales virtuales de lectura.

Procedimiento

El procedimiento de recolección de la información se realizó mediante el análisis de los contenidos presentados en cada una de las investigaciones científicas consultadas, con lo cual se llegó al criterio de aceptación de la información para su inclusión en este escrito. Los derechos de autor se citaron en la parte de referencias del escrito.

Resultados

Usos de los materiales de Tetra Pak® de desecho

En la Figura 6 se muestran algunas áreas en donde se han estudiado y aplicado los desechos de envases Tetra Pak®. El objetivo ha sido promover la reintegración de los materiales componentes de los envases posconsumo en la cadena productiva y darles un valor agregado.

Figura 6

Áreas de incidencia de los envases Tetra Pak® de desecho.



Nota. Elaboración propia.

Elaboración de paneles

De acuerdo con Askeland y Wright, (2017), los paneles tipo sándwich contienen dos caras rígidas externas y un núcleo ligero localizado entre éstas. Los paneles son ligeros, con adecuada relación entre el peso y la resistencia mecánica, así como con adecuados valores de aislamiento térmico. Los paneles son utilizados en diversas áreas de conocimiento, por ejemplo, en la industria de la construcción.

Koh-Dzul *et al.* (2023) manufacturaron paneles tipo sándwich con una capa de aluminio, luego una capa de PAC (Polietileno, Aluminio y Celulosa) de envases Tetra Pak®, o bien una capa de PAL (Polietileno y Aluminio), y, por último, una capa de aluminio. Ambos tipos de paneles presentan valores similares de rigidez y resistencia a la flexión, sin embargo, los paneles con la capa de PAC fueron más rígidos, menos dúctiles, y con menor conductividad térmica, que los paneles con capa de PAL.

De acuerdo con el estudio realizado por Figen *et al.* (2012), paneles manufacturados con desecho molido de envases Tetra Pak®, con un espesor de 18 mm y densidad de 1.1 g/cm³, presentaron valores de resistencia a la tensión de 3.5 kPa/cm²; módulo de ruptura de 186.5 kPa/cm² y de dureza de 681.5 kPa/cm². Después de ser calentados, se observó la degradación de la celulosa entre 200 °C y 400 °C, y la del Polietileno entre 400 °C y 460 °C; a mayores temperaturas se obtuvieron residuos de carbón y aluminio.

Materiales Termoprensados y retardantes de flama

Salazar *et al.* (2021) emplearon envases Tetra Pak® de desecho para la producción de pastillas, mediante el proceso de termoprensado. De los envases se utilizó el polietileno y el aluminio. Con estos se elaboraron materiales compuestos con 20, 55 y 80 % de Polietileno; 5, 13 y 20 % de aluminio, y un agente espumante elaborado con 75 % de bicarbonato de sodio y 25 % de ácido cítrico. El espumante sirvió para formar burbujas en la pastilla. La mejor formulación de las pastillas se obtuvo con 80 % de polietileno, 20 % de aluminio y 5 % de agente espumante, la cual presenta una estructura rígida (proporcionada por el aluminio) e impermeable (debida a la naturaleza hidrofóbica del polietileno). La conductividad térmica de las pastillas fue de 0.25 W/mK y la difusividad térmica de 0.14 mm²/s, valores que son menores a los del polietileno (0.33 W/mK y 0.18 mm²/s, respectivamente).

Se han llevado a cabo pruebas de reacción al fuego a través del contacto entre llamas y paneles, como se muestra en la Figura 7. Por ejemplo, Bonocore y De Luca, (2022), manufacturaron paneles con Tetra Pak® de desecho, con hojas de dimensiones de 1x10x20 cm. Cada panel tuvo un grosor de 24 hojas, que fueron prensadas a 7.84×10^4 N/m² a temperatura de 180 °C durante 15 minutos. Una vez expuestos a la flama, los autores

obtuvieron como resultado que los paneles no se incendiaron, ni se desintegraron rápidamente, sino que la incineración fue lenta, primordialmente en el área de contacto con la llama. El resultado fue que, los paneles presentaron baja conductividad térmica, a pesar de la alta concentración de cartón en el interior del panel. El polietileno tiene baja resistencia a la llama, ya que se incinera en pocos segundos, pero los paneles de polilaminado tienen alta resistencia a la llama, ya que no se queman y permanecen casi intactos después de 300s de exposición; su resistencia es del doble que la del polietileno.

Figura 7

Panel de cartón elaborado con Tetra Pak® de desecho expuesto a la flama.



Nota. elaboración propia.

Las pruebas de resistencia al agua se han llevado a cabo en paneles de dimensiones de 1x5x5 cm. Los resultados muestran que el polilaminado permanece inalterable después de su inmersión en agua durante una hora. Esto significa que la infiltración de agua no es muy rápida, a pesar de la presencia de láminas de cartón (Bonocore & De Luca, 2022).

En experimentos de retardación de la flama, se estudian el tiempo de ignición (TTI), el pico de tasa de liberación de calor (pkHRR) y la liberación total de calor (THR). De acuerdo con el estudio científico de Matta *et al.* (2022), se cortaron piezas cuadradas de 3x3 cm de envases Tetra Pak®, las cuales se pirolizaron hasta 800 °C en atmósfera de

nitrógeno a una velocidad de calentamiento de 15 °C/min, en un horno tubular. Posteriormente, el residuo sólido que se formó (conocido como biocarbón) se fue enfriando hasta llegar a la temperatura ambiente. Finalmente, fue pulverizado mediante un procedimiento mecánico.

Se agregó 20 % y 40 % de biocarbón al Etilvinilacetato (EVA), para producir materiales compuestos con dimensiones de 3x100x100 mm³. La incorporación del biocarbón reduce notablemente el pico de tasa de liberación de calor (pkHRR) hasta en 65 %, mientras que la liberación total de calor (THR) disminuye hasta un 16.9 %. Otros materiales compuestos se elaboraron con 100 % de EVA y 3 % y 6 % en peso de biocarbón, formando una capa de 500 micras de espesor sobre la superficie. Los resultados muestran que con el 3 % de biocarbón, el tiempo de ignición fue de 112 s, mientras que con 6 % disminuyó hasta 66 s, es decir, con menor concentración de biocarbón se logra mejor dispersión y menor tiempo de ignición. Sin embargo, a concentraciones mayores se forman agregados que actúan como defectos superficiales, los cuales favorecen la propagación de grietas y agilizan la ignición mediante la liberación de gases (Matta *et al.*, 2022).

En el trabajo llevado a cabo por Xu, Jian. (2014), se elaboraron y estudiaron láminas de 4.5x10x100 mm, con 70 % de partículas de Tetra Pak® con tamaños de 380 a 830 µm, 26 % de polietileno de alta densidad, y 4 % de retardantes de flama (FR) de fosfato de amonio (APP) y melamina (MEL). Los resultados señalan que el retardante de flama interfiere en la combustión durante una etapa específica; se forma una capa de carbón compacta que ayuda a bloquear el calor y el oxígeno de la superficie inflamable. Más aún, la temperatura de degradación (303 °C), va disminuyendo conforme aumenta la cantidad de retardante de flama.

También se han estudiado materiales compuestos, llamados PEAL, elaborados con 80 % de Polietileno (PE) y 15 % de aluminio (Al) provenientes de envases Tetra Pak® de desecho. Otros materiales estudiados son los PEAL/MH, que se elaboran con 40 % de PEAL y 60 % de hidróxido de magnesio; los PEAL/IFR hechos con 60 % de PEAL y 40 % de IFR [una mezcla 3:1 en peso de polifosfato de amonio (APP) y pentaeritritol (PER)]. Los resultados muestran que los valores de tiempo de ignición (TTI) son tres veces mayores cuando se añade hidróxido de magnesio (PEAL/MH), que los valores obtenidos para los

compuestos PEAL y los que utilizan el retardante de flama. Además, el compuesto PEAL/MH disminuye en 69 % el pico de tasa de liberación de calor (pkHRR), en 13 % la liberación total de calor (THR) y en 81 % la liberación total de humo (TSR) (Cravero & Frache, 2020).

Elaboración de materiales compuestos

Haciendo referencia a Hamouda *et al.* (2019), se utilizó Tetra Pak® de desecho en concentraciones de 80 a 100% e hilo de lana proveniente de desechos agroindustriales (0-20 %), para la elaboración de compuestos híbridos. Con el 80 % de Tetra Pak® se obtuvo la mayor densidad (0.82 g/cm³), la mayor resistencia al impacto tipo Charpy (12 kJ/m²) y la máxima absorción de agua (30%). Mientras que con 85% de Tetra Pak® se obtuvo el mayor módulo de ruptura de 15.1 MPa; y con una concentración de 95% de Tetra Pak® se incrementó en 18.7% la resistencia a la tensión y en 9.2% el módulo de elasticidad. Con base en estos resultados, es posible diseñar y fabricar estructuras ecológicas y sostenibles (Hamouda *et al.*, 2019).

Otros materiales compuestos son producidos con resina, urea formaldehído y partículas de Tetra Pak® de 4 mm; teniendo una densidad de 0.46 g/cm³ y dureza de 79D. Se han realizado pruebas térmicas a estos materiales, con la finalidad de ser utilizados en radiadores o calentadores eléctricos, y evitar la pérdida de calor (Murathan *et al.*, 2006).

En una de sus investigaciones, Kaya *et al.* (2020) estudiaron paneles con desechos de Tetra Pak®. En una primera etapa se separó la celulosa del polialuminio mediante el proceso de hidropulpeo. Posteriormente, se elaboraron los paneles mediante prensado térmico con polietileno y 10-30 % de partículas de aluminio, las cuales se agregaron aleatoriamente. Los paneles tuvieron dimensiones de 1x20x20 cm y densidad de 0.75 g/cm³. Los resultados mostraron valores de 8.96 N/mm² para el módulo de ruptura y de 1210 N/mm² para el módulo de elasticidad.

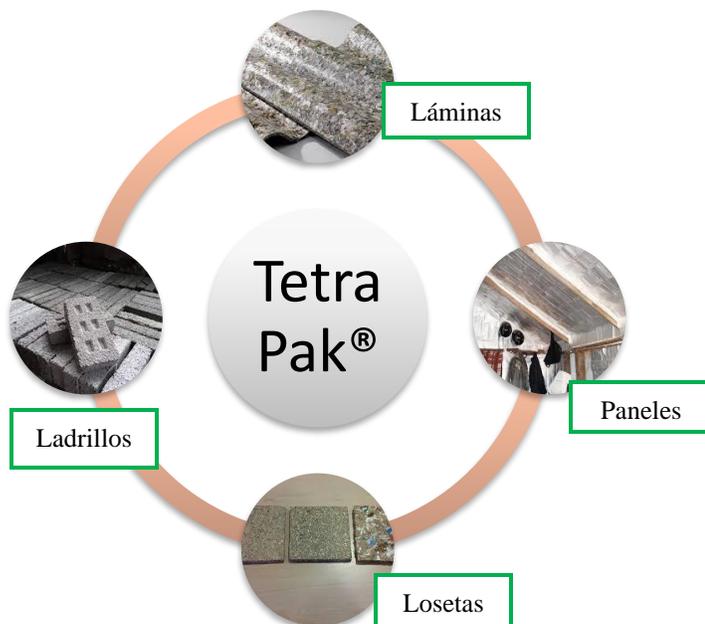
Materiales de construcción

Algunos tipos de materiales de construcción que utilizan como agregados las partículas de Tetra Pak® se muestran en la Figura 8.

Ebadi *et al.* (2016) elaboraron madera plástica con 10-30 % de residuos de Tetra Pak®, 57-60% de Polietileno de Baja Densidad (LDPE), 10-40 % de polvo de madera de 0.25 mm, y 3 % de agente de acoplamiento (MAPE: Polietileno injertado con anhídrido maleico). Los resultados muestran que las maderas aumentaron su resistencia a la tensión en un 26 % cuando se agregó 20 % de residuos de Tetra Pak®, esto debido a la presencia del aluminio, el cual permite la transferencia de tensión entre la matriz de polietileno y las fibras de la madera. El módulo de elasticidad aumentó 143 %, siendo de 2.36 GPa, cuando se agregó 30 % de Tetra Pak®, esto a causa de las láminas de aluminio, las cuales son más rígidas que el polietileno. Además, el módulo de elasticidad aumentó con la adición del agente de acoplamiento MAPE. La resistencia al impacto tipo Izod disminuyó, ya que los residuos de Tetra Pak® crearon puntos de concentración de tensión en la matriz polimérica, lo cual promovió la formación de grietas. Con la adición de 30 % de Tetra Pak® y 3 % de MAPE, la resistencia al impacto tipo Izod aumentó hasta 5.1 % respecto a la resistencia de 40.67 J/m obtenida para la madera plástica sin Tetra Pak®.

Figura 8

Diferentes tipos de materiales de construcción utilizando Tetra Pak® de desecho.



Nota. elaboración propia.

Haciendo referencia al estudio de Foti *et al.* (2019), fueron utilizados papel, cartón y envases Tetra Pak® de desecho como relleno en la producción de materiales de construcción. El papel de desecho (proveniente de papeles de oficinas, revistas y periódico), el cartón (de cajas de empaque) y el Tetra Pak® se cortaron en tiras de 4×18 mm. Después se mezclaron con agua y yeso natural en una proporción de 1:3 (v/v). Los resultados señalan un máximo valor de la resistencia a la compresión de 6.46 N/mm² para mezclas de yeso/Tetra Pak®, y un mínimo valor de 4.48 N/mm² para las mezclas de yeso/papel de revista. De acuerdo con los valores máximos, estos materiales compuestos se podrían aplicar en paredes interiores de construcciones.

Catálisis

En el área científica de catálisis, Maroušek, (2022), señala la obtención de nanopartículas de aluminio de los envases Tetra Pak® de desecho, con tamaños de 25-30 nm, una densidad de 0.173 ± 0.035 (g/cm³) y un área superficial de 375.6 ± 12.9 (m²/g). Estas nanopartículas se adicionaron para lograr un mejor rendimiento de motores de combustión interna y gases de combustión, también para aumentar la superficie de reacción en los procesos de combustión de biodiesel y mejorar significativamente los valores de la eficiencia térmica del freno (BTE), debido a la presencia de oxígeno que actúa como catalizador.

Aplicación en materiales de protección electromagnética

Uno de los métodos más eficaces que se utilizan para reducir los efectos negativos de los campos electromagnéticos es el blindaje. El blindaje contra interferencias electromagnéticas (EMI) es la reflexión y/o absorción de radiación electromagnética que un material puede tener cuando actúa como barrera ante la fuga de radiación electromagnética. Las placas de protección contra interferencias electromagnéticas se utilizan en áreas como el envasado y la construcción. Algunos materiales utilizados para este propósito se muestran en la Figura 9.

Xu, Liu (2014) trabajaron en la fabricación de placas con 200 g de desecho de envases Tetra Pak® con tamaño entre 380-820 micras, y fibras de acero con tamaños entre 3-13 mm a concentraciones de 0.002 a 0.02 % en peso. Se estudiaron las propiedades

electromagnéticas, la efectividad de blindaje (SE) y la resistividad volumétrica (VR). Los resultados muestran que la efectividad de blindaje (SE) aumenta hasta 26.27 dB, para una concentración de 0.008 % de fibra de acero; y la mayor efectividad de blindaje sucede entre 8 y 11 MHz. Cuando se añaden fibras entre 6 y 9 mm, la efectividad de blindaje aumenta gradualmente, pero la resistividad volumétrica (VR) disminuye significativamente. Más aun, con la mayor concentración de acero (0.02 %), la resistividad volumétrica de la matriz disminuye. Para placas con 0.002 % de fibra de acero con longitudes entre 9 y 10 mm, la efectividad de blindaje fue de 22.37 dB en el rango de 9 MHz a 200 MHz, y de 600 a 1,500 MHz.

Figura 9

Materiales para blindaje electromagnético



Nota. elaboración propia.

El sistema para estudiar la eficiencia de la absorción electromagnética se compone de dos cajas anecoicas, que son espacios diseñados para absorber en su totalidad las reflexiones producidas por ondas acústicas o electromagnéticas en las superficies que las conforman (suelo, techo y paredes laterales), y en antenas receptoras y transmisoras. Esto ha permitido determinar los niveles de absorción del aluminio (Li *et al.*, 2020). Los resultados del experimento científico de Kaya *et al.* (2020), muestran que el número de ondas electromagnéticas reflejadas depende del contenido de aluminio. La relación de atenuación más alta se obtiene con 30 % de aluminio y la relación de transmisión más alta con 10 % de aluminio. Las relaciones de atenuación/transmisión tienen valores que van de

–35,61 a 3,36 GHz para un contenido de aluminio del 10 %; para mayor contenido de aluminio (20 %), van de –39,08 a 4,81 GHz; y para 30 % de aluminio de –42,48 a 4,46 GHz. Es decir, la relación de atenuación aumenta conforme se incrementa la cantidad de aluminio.

Conclusiones

Los envases multicapa como el Tetra Pak® continúan siendo de gran demanda para el envasado de alimentos, pero su reciclamiento no ha crecido en las mismas proporciones que su consumo. No obstante, se han propuesto y llevado a cabo aplicaciones de los materiales que lo constituyen, es decir, el cartón (celulosa), polietileno y aluminio; dando a estos materiales la oportunidad de reincorporarse a la cadena productiva, y, sobre todo, ayudando a la conservación del medio ambiente, a través del reciclamiento y re-uso de los envases Tetra Pak®.

Referencias

- Askeland, D.R. & Wright, W.J. (2017) *Ciencia e ingeniería de materiales*. Cengage Learning.
- Bonocore, G., & De Luca, P. (2022). Preparation and characterization of insulating panels from recycled poly laminate (Tetra Pak) materials. *Sustainability*, 14 (11), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su14116858>
- Cravero, F., & Frache, A. (2020). Improving Fire Performances of PEAL: More Second-Life Options for Recycled Tetra Pak®. *Polymers*, 12 (10), 1-14. <https://doi.org/10.3390/polym12102357>
- Dölle, K., & Kavin-Chinnathambi-Jeeva, N. (2022) Aseptic Packaging Container Recovery – A Review. *Journal of Materials Science Research and Reviews*, 10 (1), 38-51. <http://institutearchives.uk/id/eprint/18>
- Ebadi, M., Farsi, M., Narchin, P., & Madhoushi, M. (2016). The effect of beverage storage packets (Tetra Pak™) waste on mechanical properties of wood–plastic composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 19 (12), 1601–1610. <https://doi.org/10.1177/0892705715618745>
- Figen, A.K., Terzi, E. Yilgör, N., Kartal, S.N., & Piskin, S. (2013). Thermal degradation characteristic of Tetra Pak panel boards under inert atmosphere. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 30, 878–890. <https://doi.org/10.1007/s11814-012-0185-y>

- Foti, D., Adamopoulos, S., Voulgaridou, E., Voulgaridis, E., Passialis, C., Amiandamhen, S.O., & Daniel G. (2019). Microstructure and compressive strength of gypsum-bonded composites with papers, paperboards and Tetra Pak recycled materials. *Journal of Wood Science*, 65 (42), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1821-5>
- Hamouda, T., Hassanin, A.H., Saba, N., Demirelli, M., Kilic, A., Candan, Z., & Jawaid, M. (2019). Evaluation of mechanical and physical properties of hybrid composites from food packaging and textiles wastes. *Journal of Polymers and the Environment*, 27, 489–497. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01369-3>
- Jones, H. G. (1982). Tetra Pak-A model for successful innovation. *Long Range Planning*, 15 (6), 31-37. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(82\)90004-8](https://doi.org/10.1016/0024-6301(82)90004-8)
- Kasar, P., Sharma, D.K., & Ahmaruzzaman, M. (2020). Thermal and catalytic decomposition of waste plastics and its coprocessing with petroleum residue through pyrolysis process. *Journal of Cleaner Production*, 265,1-25. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121639>
- Kaya, A.I., Çifci, A., Gözel, M.A., & Kahriman M. (2020). Electromagnetic absorption efficiency of aluminum doped composite materials recycled from waste Tetra Pak packages in the frequency range 1.8GHz to 5GHz. *Materials Research Express*, 7 (12), 1-12. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/abd0d5>
- Koh-Dzul, J.F., Carrillo, J.G., Guillen-Mallete, J., & Flores-Johnson, E.A. (2023). Low velocity impact behaviour and mechanical properties of sandwich panels with cores made from Tetra Pak waste. *Composite Structures*, 304,1-12. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116380>
- Korkmaz, A., Yanik, J., Brebu, M., & Vasile, C. (2009). Pyrolysis of the tetra pak. *Waste Management*, 29 (11), 2836–2841. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.07.008>
- Li, Y., Xin, L., Liu X., & Zhang, X. (2020). Dual Anechoic Chamber Setup for Over-the-Air Radiated Testing of 5G Devices. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 68 (3), 2469-2474. <https://doi:10.1109/TAP.2019.2943360>
- Maroušek, J. (2022). Aluminum nanoparticles from liquid packaging board improve the competitiveness of (bio)diesel. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 25, 1059-1067. <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02413-y>
- Matta, S., Bartoli, M., Arrigo, R., Frache, A., & Malucelli, G. (2022). Flame retardant potential of Tetra Pak®-derived biochar for ethylene-vinyl-acetate copolymers. *Composites Part C*, 8,1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2022.100252>
- Murathan, A., Murathan, A.S., Gürü, M., & Balbas, M. (2007). Manufacturing low density boards from waste cardboards containing aluminium. *Materials and Design*, 28 (7), 2215-2217. <https://doi:10.1016/j.matdes.2006.06.014>

- Nieves, J.J. (2015). Reciclaje mecánico y por radiación gamma de envases de Tetra Pak Brik Aseptic® para la modificación de propiedades físicas y mecánicas y su reuso como sustituto de agregado fino en concreto [tesis de licenciatura, Unidad Académica Profesional Tianguistenco, Universidad Autónoma del Estado de México] Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma del Estado de México. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/32693>
- Posada, C. A., & Pazmiño, Y. J. (2016) Diseño de un sistema para extraer fibra de celulosa de los envases multicapas para uso alimenticio [tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio Dspace. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/34459>
- Robertson, G.L. (2021). Recycling of Aseptic Beverage Cartons: A Review. *Recycling*, 6(1), 1-20. <https://doi.org/10.3390/recycling6010020>
- Salazar-Jurado, E., Fonthal-Rivera, G., & Gómez-Hernández, E. (2021). A new material with low density and low thermal conductivity using post-consumer Tetra Pak packages. *Journal of Physics: Conference Series*, 2046, 1-8. <https://doi:10.1088/1742-6596/2046/1/012040>
- Xu, C., Jian, W., Xing, C., Zhou, H., Zhao, Y., Pan, H., & Xiong, X. (2014). Flame retardancy and mechanical properties of thermal plastic composite panels made from Tetra Pak waste and High-Density Polyethylene. *Polymer Composites*, 37 (6), 1797-1804. <https://doi.org/10.1002/pc.23352>
- Xu, C., Liu, J., Zhu, X., Zhu, Y., Xiong, X., & Cheng, X. (2014). Electromagnetic interference shielding boards produced using Tetra Paks waste and iron fiber. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17, 391–398. <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0255-9>