

ANÁLISIS FÍSICO-MECÁNICO, PROPIEDADES Y USO DE MATERIALES  
RECICLABLES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN VILLAVICENCIO



SOFY ALEJANDRA VELÁSQUEZ BARAJAS



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2024

Análisis físico-mecánico, propiedades y uso de materiales reciclables para la construcción de viviendas en Villavicencio

Sofy Alejandra Velásquez Barajas

Monografía para optar el título profesional de ingeniera civil

Director

Ing Alfonsina Bocanegra Gómez

Geóloga e Ingeniera Industrial

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2024

**Autoridades Académicas**

**F. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.**

Rector General

**F. Eduardo GONZÁLES GIL, O. P.**

Vicerrector Académico General

**P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.**

Rector Sede Villavicencio

**F. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.**

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**Mg. LUIS FERNANDO DÍAS CRUZ**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

### **Agradecimientos**

Expreso mis agradecimientos a Dios, fuente de fortaleza y sabiduría, por guiarme a lo largo de este viaje académico, a la docente Alfonsina Bocanegra, por su grandiosa colaboración e interés en este trabajo de grado. Por otro lado, a mis padres, Diana Barajas y Guillermo Velasquez, y a mi hermana Daniela Velasquez, que me inculcaron los valores que hoy en día me representan y me brindaron su apoyo incondicional para la culminación de mi grado en Ingeniería Civil.

## Contenido

	Pág.
Resumen .....	9
Abstract.....	10
Glosario.....	11
1. Introducción.....	12
2. Formulación de problema.....	13
3. Objetivos .....	14
3.1. Objetivo general .....	14
3.2. Objetivos específicos.....	14
4. Justificación.....	15
5. Estado del arte .....	16
5.1. Antecedentes .....	16
5.2. Marco teórico .....	17
5.2.1 Caracterización y estructura de los materiales reciclables.....	17
5.2.2 Procesos de reciclaje de los materiales Tetra Pak, PET y llantas .....	19
5.2.3 Importancia del reciclaje del Tetra Pak, PET y Llantas.....	19
6. Metodología.....	21
6.1. FASE 1: Identificación de las propiedades físico-mecánicas .....	21
6.2. FASE 2: Uso y propiedades de los materiales Tetra Pak, PET y llantas .....	21
6.3. FASE 3: Comparación de las propiedades de materiales reciclables con tradicionales .	21
7. Desarrollo .....	23
7.1. Propiedades físico-mecánicas de materiales de construcción .....	23
7.1.1 Absorción de agua.....	23
7.1.2 Densidad .....	23
7.1.3 Módulo de elasticidad .....	24
7.1.4 Resistencia a compresión .....	24
7.1.5 Resistencia a flexión .....	24
7.2. Uso y propiedades físico-mecánicas de los materiales Tetra Pak, PET y llantas .....	25

7.2.1	Uso y propiedades físico-mecánicas del Tetra Pak en tejas. ....	25
	7.2.1.1 Composición de tejas con Tetra Pak. ....	25
	7.2.1.2 Matriz de análisis para la utilización de envases Tetra Pak en tejas.....	27
7.2.2	Uso y propiedades físico-mecánicas del PET en ladrillos.....	28
	7.2.2.1 Composición de ladrillos con PET. ....	28
	7.2.2.2 Matriz de análisis de utilización de PET en ladrillos.....	29
7.2.3	Uso y propiedades físico-mecánicas de las llantas en pisos decorativos.....	30
	7.2.3.1 Composición de pisos con llantas. ....	30
	7.2.3.2 Matriz de análisis de utilización de Llantas .....	31
7.3.	Análisis comparativo de las propiedades de los materiales de construcción convencional y reciclado .....	32
7.3.1	Análisis comparativo Tetra Pak en Tejas.....	32
7.3.2	Análisis comparativo PET en Ladrillos .....	33
7.3.3	Análisis comparativo Llantas en pisos decorativos .....	34
8.	Conclusiones .....	36
9.	Referencias Bibliográficas .....	38

**Lista de Tablas**

	Pág.
<b>Tabla 1</b> <i>Utilización de Tetra Pak en prototipos de cubiertas para techos de viviendas</i> .....	27
<b>Tabla 2</b> <i>Utilización de PET en prototipos de ladrillos #6</i> .....	29
<b>Tabla 3</b> <i>Utilización de llantas en pisos decorativos</i> .....	31
<b>Tabla 4</b> <i>Análisis comparativo entre parámetros físico-mecánicos tejas con Tetra Pak y materiales tradicionales</i> .....	32
<b>Tabla 5</b> <i>Análisis comparativo entre parámetros físico-mecánicos ladrillos con PET y materiales tradicionales</i> .....	33
<b>Tabla 6</b> <i>Análisis comparativo entre parámetros físico-mecánicos de pisos decorativos con llantas y materiales tradicionales</i> .....	34

**Lista de Figuras**

	Pág.
<b>Figura 1</b> <i>Composición del material Tetra Pak</i> .....	26

## Resumen

El contenido de este Trabajo de Grado se enmarca en la comparación a partir de la información encontrada en la revisión bibliográfica respecto las propiedades físico-mecánicas y uso de materiales reciclables para la construcción de viviendas en la ciudad de Villavicencio. Se realizó un breve análisis sobre el uso de materiales reciclables como el Tetra Pak en tejas, PET en ladrillos y llantas en pisos decorativos. También se identificaron los principales parámetros físico-mecánicos de los materiales elegidos, y posteriormente se efectuó un análisis comparativo de los estudios consultados entre los parámetros físico-mecánicos según las características de los materiales reciclables con los materiales convencionales para la construcción. El fin de estos análisis comparativos consistió en determinar la aptitud para el uso de los materiales reciclables Tetra Pak, PET y llantas en materiales usados en la construcción de viviendas para reducir los impactos negativos que la fabricación y desechos de materiales convencionales generan al medio ambiente.

**Palabras Clave:** Materiales reciclados, Medio ambiente, Propiedades físico-mecánico, Construcción de viviendas.

### **Abstract**

The content of this Thesis is framed within the comparison based on the information found in the literature review regarding the physical-mechanical properties and use of recyclable materials for housing construction in the city of Villavicencio. A brief analysis was conducted on the use of recyclable materials such as Tetra Pak in roofing tiles, PET in bricks, and tires in decorative flooring. The main physical-mechanical parameters of the selected materials were also identified, followed by a comparative analysis of the consulted studies regarding the physical-mechanical parameters based on the characteristics of recyclable materials with conventional construction materials. The aim of these comparative analyses was to determine the suitability for the use of recyclable materials Tetra Pak, PET, and tires in materials used in housing construction to reduce the negative impacts that the manufacturing and disposal of conventional materials generate on the environment.

**Keywords:** Recycled materials, Environment, Physical-mechanical properties, Housing construction.

## Glosario

**Absorción de agua:** La absorción de agua se genera cuando las moléculas de agua al estar en contacto con un material penetran en sus poros (Glosario de Riego, 2022).

**Densidad:** La densidad es la magnitud que indica la relación entre el volumen y la masa de un cuerpo, medida en el sistema internacional mediante el kilogramo por metro cúbico (Real Academia Española, 2023).

**Llanta:** La llanta es un elemento de caucho que cubre la rueda de los automóviles para suavizar el movimiento (Real Academia Española, 2023).

**Módulo de Elasticidad:** El módulo de elasticidad es una propiedad mecánica que describe la resistencia del material a deformarse cuando se aplica una fuerza o tensión (Unitex Spain, 2023).

**Parámetros físico-mecánicos:** Los parámetros físico-mecánicos son los atributos medibles en un material que describen su comportamiento ante condiciones específicas, son esenciales para evaluar el rendimiento de un material en situaciones específicas (Cancino Yañez, 2018).

**PET:** El polietileno tereftalato, más conocido como PET. Es una clase de plástico termoplástico que por su resistencia y transparencia es utilizado por diferentes sectores como la fabricación de envases para bebidas, alimentos y otros productos (IBP Uniuero, 2022).

**Propiedades físico-mecánicas:** Las propiedades físico-mecánicas son las características de un material que determinan su respuesta ante condiciones físicas o fuerzas mecánicas, para determinar la idoneidad del material en una aplicación específica (Infinitia Industrial Consulting, 2023).

**Resistencia a compresión:** La resistencia a compresión es la capacidad de un material para resistir fuerzas que actúan para comprimirlo sin sufrir deformaciones permanentes (Diccionario de Arquitectura y Construcción, 2024).

**Resistencia a flexión:** La resistencia a flexión se refiere a la capacidad de un material para soportar fuerzas de flexión sin romperse o deformarse de manera excesiva. Es una propiedad mecánica importante para los materiales utilizados en la construcción (Gloval Composites, s.f).

**Tetra Pak:** El Tetra Pak es un material compuesto por papel, polietileno, aluminio y tinta, es conocido por su capacidad para mantener la calidad de los alimentos alargando su vida útil, su nombre se debe al nombre de la empresa sueca Tetra Pak (Tetra Laval Group, s.f).

## 1. Introducción

En el contexto global, la industria de la construcción ha emergido como una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero y una de las causantes más importantes de pérdida de biodiversidad. La extracción de recursos y el procesamiento de materiales convencionales en esta industria generan cifras alarmantes de residuos, contribuyendo significativamente al deterioro ambiental (Dobrowolska, 2021).

Este contexto mundial y local, ha impulsado un interés creciente, en el uso de materiales reciclables para la construcción, sin embargo, la ciudad de Villavicencio-Meta se enfrenta a un desafío fundamental, la falta de información sólida sobre las propiedades físico-mecánicas de los materiales reciclables, los que plantean dudas sobre su viabilidad en la construcción de viviendas.

En este trabajo se abordó esta problemática mediante una revisión bibliográfica de las evaluaciones físicas y mecánicas realizadas en otros estudios de los materiales reciclables disponibles en Villavicencio, como envases Tetra Pak, PET y llantas, con el objetivo de determinar su idoneidad para la construcción de viviendas. Permitiendo generar un enfoque hacia los aspectos claves como la resistencia, durabilidad y capacidad para soportar cargas.

Esta revisión de literatura no solo buscó proporcionar una base para la utilización de materiales reciclables en la construcción de viviendas, sino que también contribuyó a abordar los desafíos ambientales de la región. El uso de estos materiales puede reducir el impacto ambiental, y promover la innovación en el sector de la construcción en Villavicencio, respaldando así el desarrollo sostenible de la ciudad y atrayendo posibles inversionistas.

## 2. Formulación de problema

A nivel mundial la extracción de recursos y el procesamiento de materiales convencionales para la industria de la construcción son los generadores de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero y de más del 90% de la extinción de biodiversidad, produciendo así un estimado de 11.200 millones de toneladas de residuos anualmente (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2023).

Por otro lado, el alto costo en la construcción con materiales convencionales y la explotación de canteras a cielo abierto genera un gran impacto al medio ambiente, causando daños ambientales en el paisaje, la flora y la fauna, debido a la disminución de la capa vegetal, daños en suelos explotados y deforestación (Barrera Osorio, 2010), lo cual ha generado un interés a escala mundial sobre el reciclaje de materiales que puedan usarse para la construcción.

Villavicencio no es ajeno a este problema, debido a que es una ciudad que presenta un crecimiento constante por su cercanía con Bogotá, capital de Colombia, por lo que la necesidad de vivienda aumenta rápidamente. Según las últimas estadísticas realizadas por el DANE, sobre la estimación de escombros generados en Villavicencio para el año 2013, se reportó aproximadamente 107.180m<sup>3</sup> de residuos de construcción y demolición. (Agudelo Varela et al., 2020)

Mediante la siguiente revisión de literatura, desde la Ingeniería Civil, se busca identificar el uso de materiales reciclables para contribuir a la sostenibilidad del medio ambiente, sin embargo, la falta de información sobre las propiedades físico-mecánicas de estos materiales para evaluar la resistencia y durabilidad de los mismos y poder garantizar la seguridad y la calidad de las viviendas, constituye una importante problemática, ya que limita las opciones de construcción sostenible en Villavicencio y tiende a aumentar los costos de construcción al tener que recurrir a materiales importados y/o de costos elevados. De esta forma, este análisis comparativo de materiales reciclables evaluados en estudios previos, es crucial para el desarrollo sostenible y la construcción de viviendas de calidad en Villavicencio. (Dobón Oliver, 2019)

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue realizar una revisión bibliográfica de estudios ya realizados en relación con el análisis físico-mecánico de los materiales reciclables disponibles en Villavicencio, tales como envases Tetra Pak, PET y llantas, para de esa forma determinar su idoneidad en el uso de la construcción de viviendas. Se centrará en la resistencia y durabilidad de los materiales, junto con su capacidad para soportar cargas y resistir las condiciones climáticas (Torgal, 2013).

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

Definir mediante la revisión de literatura el análisis físico-mecánico, propiedades y uso de los materiales reciclables (envases Tetra Pak, PET y llantas) para la construcción de viviendas en Villavicencio.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Identificar las principales propiedades físico-mecánicas que deben ser consideradas al utilizar estos materiales en la construcción de viviendas.
- Realizar una revisión de literatura existente sobre la utilización y parámetros físico-mecánicos de envases Tetra Pak, PET y llantas en la construcción de viviendas.
- Analizar los parámetros de los materiales reciclables mencionados y compararlos con los parámetros de materiales convencionales utilizados en la construcción de viviendas.
- Determinar el uso apropiado de cada uno de los materiales propuestos de acuerdo con los resultados obtenidos por los estudios seleccionados y revisados sobre el análisis de las propiedades físicas y mecánica para su implementación en la construcción.

#### 4. Justificación

El uso de materiales reciclables en la construcción de viviendas puede reducir el impacto ambiental al disminuir la extracción de materias primas, reducir la cantidad de residuos generados y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (Arenas Cabello, s.f). Además, su implementación en la construcción de viviendas también presenta desafíos en términos de resistencia y durabilidad (Mora Castro, 2021). Por lo tanto, se llevó a cabo una revisión de la literatura existente para determinar la viabilidad de utilizar envases Tetra Pak, PET y llantas en la construcción de viviendas en Villavicencio, con base a sus parámetros físicos y mecánicos.

En relación con las implicaciones, el presente trabajo de grado contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible- ODS, específicamente en el objetivo 9 "Industria, innovación e infraestructura", debido a que la construcción sostenible es un tema clave para lograr un futuro más sustentable y el uso de materiales reciclables en la construcción puede ser una solución efectiva para reducir el impacto ambiental en esta área (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015). Además, el desarrollo de tecnologías y metodologías para la caracterización y análisis de materiales reciclables en la construcción puede ser un motor de innovación en este sector, lo que a su vez puede tener impactos positivos en la economía y en la creación de empleo (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2007).

El uso de estos materiales puede reducir los costos de construcción, fomentar la innovación en el sector y reducir el impacto ambiental de la construcción en Villavicencio. Además, al aumentar la conciencia sobre la importancia de la construcción sostenible, se puede mejorar la imagen de la ciudad y atraer a inversionistas y turistas que buscan destinos sostenibles y responsables con el medio ambiente (González Gómez et al., 2019).

Con la presente monografía se contribuye al establecimiento de una base para la utilización de materiales reciclables en la construcción de viviendas, basados en la revisión de literatura del análisis de propiedades físico-mecánicas ya realizadas en otros estudios sobre los materiales propuestos, dando un uso apropiado de ellos de acuerdo con los resultados obtenidos.

## 5. Estado del arte

### 5.1. Antecedentes

El análisis físico y mecánico de materiales reciclables para su uso en la construcción de viviendas es un tema que ha ganado importancia en los últimos años debido a la necesidad de promover la construcción sostenible y reducir la generación de residuos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). A nivel internacional, diversos estudios han investigado el uso de materiales reciclados en la construcción y han demostrado que estos materiales pueden ser utilizados con éxito en la construcción de viviendas, siempre y cuando se realice un análisis adecuado de sus propiedades físicas y mecánicas.

- En España, se ha investigado el uso de materiales reciclados en la construcción, incluyendo el análisis físico y mecánico de estos materiales. Los resultados indican que los materiales reciclados pueden ser utilizados en la construcción de edificios con éxito, siempre y cuando se realice un análisis adecuado de sus propiedades (Ortiz & Castells , 2009).
- Un estudio realizado por Guet et ál (2019) en China, se evaluó el potencial de los materiales reciclados, como PET y neumáticos, en la fabricación de bloques de hormigón. Los resultados indicaron que el uso de materiales reciclados no afectó las propiedades físicas y mecánicas del bloque de hormigón, lo que sugiere que es posible utilizar estos materiales en la construcción de viviendas.
- En Brasil, se llevó a cabo un estudio sobre el uso de residuos de la construcción y demolición en la construcción de viviendas populares. En este estudio se realizaron pruebas físicas y mecánicas de los materiales reciclados y se encontró que son aptos para su uso en la construcción de viviendas (Zanotti & Antonucci, 2017).
- Otro estudio interesante sobre el uso de materiales reciclables en la construcción de viviendas fue realizado en Brasil por. (Alves Cabral de Freitas et al., 2021) Este estudio evaluó el desempeño mecánico de un ladrillo ecológico producido con materiales reciclados, como vidrio y lodos de tratamiento de aguas residuales. Los resultados mostraron que el ladrillo reciclado presentaba resistencia y durabilidad similar o superior a los ladrillos convencionales.

- En México, se ha llevado a cabo un estudio sobre la utilización de residuos de construcción y demolición (RCD) como material de construcción para viviendas. En este estudio se realizó un análisis físico y mecánico de los RCD y se encontró que, con el tratamiento adecuado, pueden ser utilizados como materiales de construcción para la vivienda, lo que puede reducir el costo de la materia (Tena & Morales, 2021).
- En Colombia, se realizó un estudio sobre el desarrollo de un sistema de construcción tipo Lego, mediante la inyección de plástico fundido reciclable en moldes que permiten encajar los muro como un conjunto de Lego, facilitando su ensamblaje al momento de la construcción. En este estudio se comprobó su viabilidad en la construcción, destacando su notable resistencia tanto a la inmersión como a la exposición al fuego., su gran resistencia a terremotos con una escala de Richter de hasta 9,5 y su bajo costo al momento de producción (Ortiz Marín et al., 2023)
- En cuanto a estudios específicos sobre el análisis físico y mecánico de materiales reciclables en Villavicencio, es posible que sean escasos, sin embargo, se pueden encontrar estudios más generales sobre la gestión de residuos y el uso de materiales reciclables en la región. Por ejemplo, el estudio de (Niño Torres et al., 2017), evaluó la gestión de residuos en Villavicencio, y destacó la importancia del reciclaje y la valorización de los residuos para la sostenibilidad de la ciudad. Por otro lado, el estudio sobre la factibilidad del uso de este RCD es fundamental para la generación de nuevos elementos prefabricados, los cuales cumplen con las características y propiedades para uso de ladrillos, cunetas o adoquines, en los cuales es posible aplicar el 100% de agregados gruesos obtenidos de materiales reciclados de los RCD, permitiendo reducir los costos de construcción (Rodríguez Ríos, 2021)

## **5.2. Marco teórico**

### ***5.2.1 Caracterización y estructura de los materiales reciclables***

En cuanto a la caracterización de los materiales reciclables que se utilizarían en la construcción de viviendas en Villavicencio, se puede destacar lo siguiente:

Los envases Tetra Pak están compuestos principalmente por papel, plástico y aluminio, lo que les confiere una gran resistencia y durabilidad. Además, su interior está recubierto de una capa de polietileno, lo que los hace impermeables y resistentes a la humedad. Estos envases son ampliamente utilizados en la industria alimentaria y de bebidas, por lo que su disponibilidad en la región podría ser alta (Ecoembes, 2019).

El PET es un tipo de plástico ampliamente utilizado en la fabricación de envases para bebidas y alimentos, así como también en la producción de textiles y fibras. Este material es ligero, resistente y reciclable, por lo que su uso en la construcción de viviendas podría ser una alternativa interesante (Maldonado Álvarez, 2023). En la región de Villavicencio, es posible que se disponga de grandes cantidades de botellas PET reciclables.

Las llantas son un tipo de material reciclable que se utiliza en diversas aplicaciones, incluyendo la construcción de viviendas. Están compuestas principalmente de caucho, que le confiere una gran elasticidad y resistencia a la abrasión (Torres, 2019). En Villavicencio, es probable que se disponga de grandes cantidades de llantas usadas, lo que podría representar una oportunidad para su reutilización en la construcción.

En cuanto a las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales reciclables, se puede destacar lo siguiente:

Los envases Tetra Pak presentan una alta resistencia a la tracción y la compresión, así como también a la penetración y la punción. Además, su capa de polietileno los hace impermeables a la humedad y a los gases, lo que los hace aptos para su uso en la construcción (Quintero Rueda & Rodríguez Romero, 2015).

El PET es un material resistente a la tracción y la compresión, y presenta una alta resistencia al impacto. Además, es un material ligero y fácil de manejar, lo que lo hace apto para su uso en la construcción (Archila Gonzalez & Figueroa Parra, 2017).

Las llantas son materiales muy resistentes a la tracción y la compresión, así como también a la abrasión y al desgaste. Además, su elasticidad les confiere una gran capacidad de absorción de impactos, lo que las hace aptas para su uso en la construcción (Cardona Gómez & Sanchez Montoya, 2011).

En cuanto a la disponibilidad y el costo de estos materiales en la región de Villavicencio, se requeriría de una investigación más detallada y específica para determinar estas variables.

### ***5.2.2 Procesos de reciclaje de los materiales Tetra Pak, PET y llantas***

Los métodos de fabricación de materiales reciclados son de gran importancia para garantizar la calidad de los materiales utilizados en la construcción de viviendas en Villavicencio. En primer lugar, es importante tener en cuenta que la materia prima analizada para la fabricación de materiales reciclados son los envases Tetra Pak, PET y llantas, por lo que se debe asegurar su limpieza y separación para obtener un material de calidad (Gómez Soberón, 2010).

Uno de los métodos de fabricación más comunes es la trituración de los materiales reciclables, que consiste en reducir el tamaño de los envases y llantas para facilitar su transporte y posterior procesamiento. Este proceso se puede realizar con diferentes tipos de máquinas trituradoras, como molinos de cuchillas o molinos de martillos.

Una vez triturados los materiales reciclables, se procede a su limpieza y separación mediante el uso de agua y otros productos químicos. Esta etapa es crucial para garantizar que el material resultante sea de calidad y esté libre de impurezas (Murcia Correa & Romero Mendoza, 2012).

### ***5.2.3 Importancia del reciclaje del Tetra Pak, PET y Llantas***

El reciclaje del Tetra Pak se ha convertido en uno de los más importantes debido a su alto uso en la cotidianidad de los ciudadanos, desde las bebidas lácteas hasta los jugos de caja. El gobierno colombiano ha realizado grandes esfuerzos mediante iniciativas de reciclaje para la concientización ante los consumidores y la industria, sobre la importancia del cuidado del medio ambiente. Estos esfuerzos se han visto reflejados en cifras del DANE y del Ministerio de Medio Ambiente, debido a que los porcentajes de reciclaje han pasado del 12% en 2012 al 17% en 2017. La meta está en llegar a lograr un reciclaje de hasta el 95% como en Suiza, por lo que el país cuenta con más de siete normativas relacionadas con residuos que afectan al medio ambiente (Tetra Laval Group, 2018).

En tanto al reciclaje del PET y su importancia, la directora ejecutiva en Colombia de Recicla Latam, Juliana Rincón, señala que es de vital importancia debido a la gran contaminación que produce diariamente este material, de esta forma al fomentar su reciclaje, el medio ambiente se vería beneficiado en tanto a la reducción del uso de materias primas, el uso más eficiente de los

materiales, la reducción del 88% en el uso de energía comparada con la fabricación de plástico de materias primas nueva y además de esto, ayudaría a fomentar la economía circular debido a la reutilización que el material PET permite (Cifuentes, 2023).

La organización mundial de la salud OMS (2013), clasifica las llantas como el segundo residuo más contaminante de Sudamérica. En 2015, el ministro de Medio Ambiente, Gabriel Vallejo manifestó que cada año se queman aproximadamente cinco millones de neumáticos en Colombia, lo que se ha convertido en un problema de salud pública por el aumento de enfermedades respiratorias. El gobierno colombiano toma el reciclaje de llantas como una alternativa de gran importancia ante la contaminación ambiental que se ha desarrollado especialmente en Bogotá, donde el uso del carro va en aumento y por consiguiente la utilización de neumáticos, que después del periodo útil son desechados (Bohórquez Quintero & Ballesteros Bejarano, 2016).

## 6. Metodología

La presente revisión de literatura estableció tres fases principales, las cuales están encargadas de apoyar el alcance de los objetivos planteados, mediante la revisión de estudios previos que han demostrado la viabilidad de utilizar materiales reciclados en la construcción, siempre y cuando en los estudios se realicen evaluaciones de sus propiedades físico-mecánicas.

### 6.1. FASE 1: Identificación de las propiedades físico-mecánicas

En esta fase el proceso de revisión de literatura existente sobre la utilización de envases Tetra Pak, PET y llantas en la construcción de viviendas, permitió identificar las principales propiedades físico-mecánicas y su importancia para su utilización en materiales de la construcción, tales como la resistencia a flexión, la resistencia a compresión y otras características esenciales para la construcción de viviendas sostenibles.

### 6.2. FASE 2: Uso y propiedades de los materiales Tetra Pak, PET y llantas

Una vez se identificaron las propiedades físico-mecánicas, se realizó una revisión en fuentes de información relevante donde se identificó el uso apropiado de cada uno de los materiales reciclables en la construcción. Posterior a ello, se realizó una matriz de análisis, donde se registró la información de cada uno de los estudios previos seleccionados y revisados, especificando los parámetros físico-mecánicos, el método de fabricación y los resultados de cada estudio sobre el uso de Tetra Pak en Tejas, PET en ladrillos y Llantas en pisos decorativos. La matriz de análisis nos brindó una visión clara de cómo estos investigadores han evaluado la idoneidad de estos materiales para su aplicación en la construcción de viviendas (Pinzón Hormiga, 2022).

### 6.3. FASE 3: Comparación de las propiedades de materiales reciclables con tradicionales

A partir de la selección de información relevante que se realizó en la fase 2 del uso más apropiado de los materiales reciclables como materiales de construcción, se recopiló información suficiente sobre los parámetros físico-mecánicos de los materiales de construcción convencionales.

Finalmente, con esta información recopilada de los otros estudios, se realizó una matriz de análisis comparativa de las propiedades físico-mecánicas de estos materiales reciclables Tetra Pack en tejas, PET en ladrillos y llantas en pisos decorativos, en relación con los materiales de construcción convencionales, para de esta forma determinar su aplicabilidad en la construcción.

## 7. Desarrollo

### 7.1. Propiedades físico-mecánicas de materiales de construcción

Las propiedades físico-mecánicas de los materiales son de vital importancia para garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia de la construcción, entre las más importantes se encuentran:

#### 7.1.1 Absorción de agua

Es la propiedad que tienen los materiales para captar líquidos, y su importancia varía según el tipo de material y la porosidad que presente. Esta propiedad puede llegar a definir la durabilidad del material, debido a que entre mayor absorción de agua tenga, la degradación a lo largo del tiempo puede ser mayor, principalmente en climas húmedos. Por otro lado, según la absorción del material sea alta o baja, puede afectar en el aislamiento térmico, debido a que la presencia de agua puede generar la disminución de eficiencia del material al aumentar su conductividad térmica.

Se define como *Absorción de Agua* (%) =  $\frac{P_{sat}-P_{sec}}{P_{sec}} * 100$ , donde el peso saturado del material se toma a las 24h de estar sumergido en agua (Verduch, 1975).

#### 7.1.2 Densidad

Es fundamental al momento de analizar la viabilidad para la aplicación de un material de construcción. Esta propiedad puede contribuir a reducir la carga estructural que puede soportar una construcción, debido a que la densidad de un material influye en su peso por unidad de volumen, por lo que, si se eligen materiales livianos pero fuertes, la carga estructural de la construcción va a ser menor. También juega un papel importante ante la acústica del material, es decir, entre más denso sea el material, menor transmisión de ondas sonoras va a dejar pasar.

Se define como  $\rho = \frac{m}{v}$ , donde por lo general la masa se expresa en gramos y el volumen  $\text{cm}^3$  (Marie Day & Carpi, 2023).

### **7.1.3 Módulo de elasticidad**

Es la propiedad que está directamente relacionada con el comportamiento elástico y deformaciones, para medir su rigidez. Esta propiedad es de vital importancia en el diseño de elementos constructivos donde es fundamental la deformación mínima, como lo son las vigas y columnas, debido a que materiales con altos módulos de elasticidad presentan menor deformación ante cargas sobrepuestas. Además, es de gran ayuda al identificar el tipo de material usado en construcciones situadas en áreas sísmicas, debido a que la capacidad de deformación del material sirve para la seguridad estructural ante esta circunstancia (Industrial Physics, 2023).

Se define como  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ , donde E es el módulo elástico,  $\sigma$  es la tensión por superficie de la unidad y  $\epsilon$  es la deformación proporcional (Serviosis, 2020).

### **7.1.4 Resistencia a compresión**

Es una de las propiedades primordiales en los materiales en la construcción en tanto a la estabilidad estructural y durabilidad. Es esencial para determinar qué capacidad tiene el material al que se le está realizando el ensayo ante el soporte de cargas aplicadas a compresión, cuanto mayor sea podrá soportar mayores cargas a compresión sin experimentar daños. Existen tres puntos claves del ensayo, el límite de fluencia, donde identifica el momento en el que inicia la deformación irre recuperable del material, el límite de resistencia, donde se identifica la máxima presión que recibe el material antes de quebrarse, y el punto de ruptura que es la tensión máxima al que puede ser expuesto el material antes de romperse (Structuralia, 2022).

Se define como  $f'c = \frac{P}{A}$ , donde resultados se expresan comúnmente en pascales (Cemex, 2019).

### **7.1.5 Resistencia a flexión**

Es fundamental en tanto a la estabilidad estructural. La resistencia a flexión expresa la capacidad de soportar fuerzas que generen curvatura o flexión en el elemento constructivo de ese material. La tensión máxima que soporta el material en el ensayo, se denomina módulo de rotura.

También es muy importante tenerla en cuenta en materiales utilizados en áreas con alta actividad sísmica, debido a que es indispensable para garantizar que la estructura soporte y absorba las fuerzas generadas por el evento (Universidad de Alicante, 2019).

Se define como  $\sigma_{flexión} = \frac{3FL}{2wh^2}$ , donde F es la carga aplicada en Newtons, L es la separación entre los puntos de apoyo en metros, w es el ancho de la muestra en metros y h es el espesor en metros (Rivera Garnica, 2020).

## **7.2. Uso y propiedades físico-mecánicas de los materiales Tetra Pak, PET y llantas**

### **7.2.1 *Uso y propiedades físico-mecánicas del Tetra Pak en tejas***

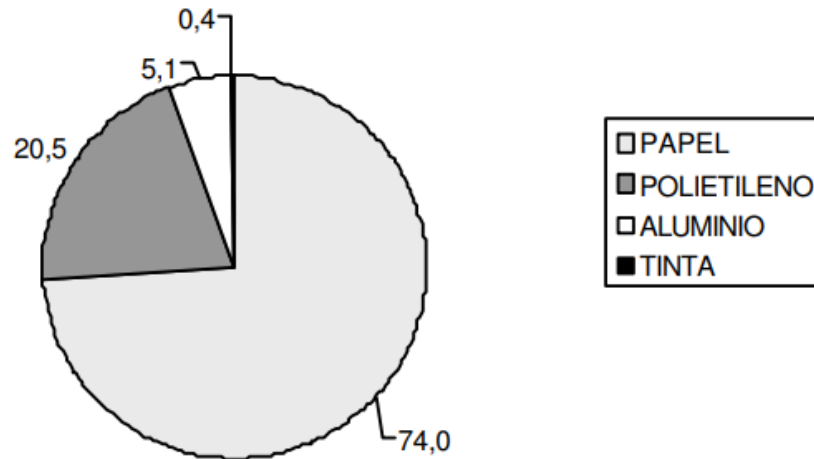
El uso de Tetra Pak en la fabricación de tejas para techos en proyectos de construcción es una elección estratégica que aporta múltiples beneficios al proyecto en cuestión. Esta opción responde a una creciente preocupación por la sostenibilidad en la industria de la construcción y promueve la utilización de materiales reciclables en la edificación de viviendas.

Desde una perspectiva ambiental, la utilización de Tetra Pak como material para tejas de techos contribuye significativamente a la reducción de residuos sólidos y a la reutilización de recursos, al reciclar este material en lugar de desecharlo, se minimiza el impacto ambiental y se fomenta una práctica constructiva más responsable. Además, las tejas de Tetra Pak presentan una característica distintiva que beneficia tanto a la eficiencia del proyecto como al confort de los futuros residentes. Su ligereza simplifica el proceso de transporte e instalación, lo que no solo puede acelerar los tiempos de construcción, sino que también reduce los costos asociados. Al mismo tiempo, el Tetra Pak posee propiedades de aislamiento térmico que ayudan a mantener una temperatura interior más estable en la vivienda, contribuyendo a la eficiencia energética y al bienestar de quienes habitarán el espacio (Sanchez Ballesteros, 2022). Otra ventaja importante es su resistencia a la humedad y a las condiciones climáticas adversas gracias a sus capas de plástico y aluminio. Esta característica garantiza la durabilidad de las tejas, protegiendo la estructura de la vivienda de posibles daños ocasionados por filtraciones de agua u otros elementos climáticos.

**7.2.1.1 Composición de tejas con Tetra Pak.** Se componen de envases Tetra Pak, los cuales originalmente son usados para el embalaje y almacenamiento de bebidas y alimentos sin

necesidad de refrigeración, debido a su buen aislamiento. La composición del material se basa en la suma de 4 elementos: papel, polietileno, aluminio y tinta (Zúñiga, 2020).

**Figura 1** Composición del material Tetra Pak



**Figura 1.** Composición del Tetra Pak

Fuente: Empresa Tetra Pak, 2002.

*Nota.* Adaptado de “Composición del Tetra Pak”, Empresa Tetra Pak, 2002, <https://encr.pw/bKEIL>.

### 7.2.1.2 Matriz de análisis para la utilización de envases Tetra Pak en tejas

**Tabla 1**

*Utilización de Tetra Pak en prototipos de cubiertas para techos de viviendas*

Estudio	Uso en la construcción	Método de fabricación	Propiedades físico-mecánicas	Resultados de los ensayos
Cuantitativo	Cubiertas para techos de viviendas	Para la elaboración de tres prototipos de cubiertas de Tetra Pak, con un área de 1m <sup>2</sup> , y tres espesores de tablero (0.5cm, 0.6cm y 1cm): -Se comenzó recolectando los envases reciclados de Tetra Pak. -Se separaron los 3 componentes (cartón, aluminio y plástico), para lavarlos y secarlos al sol. -Se trituró el material reciclado en fibras, para empaquetarlas en moldes de plástico. -Se prensaron los moldes a una temperatura de 180°C con una presión máxima de 1500PSI durante 20 minutos. -Luego de que estuvieran fundidos, se llevaron a planchas de agua fría, para aumentar su dureza y rigidez.	Densidad	Espesor de Tablero (0.5cm) – 1252.72 kg/m <sup>3</sup> Espesor de Tablero (0.6cm) – 1457.77 kg/m <sup>3</sup> Espesor de Tablero (1cm) – 1302.07 kg/m <sup>3</sup>
			Resistencia a Flexión	Espesor de Tablero (0.5cm) – 905 N Espesor de Tablero (0.6cm) – 960 N Espesor de Tablero (1cm) – 2010 N
			Módulo de Elasticidad	Espesor de Tablero (0.5cm) – 1100 MPa Espesor de Tablero (0.6cm) – 1320 Mpa Espesor de Tablero (1cm) – 1950Mpa
			Absorción de agua	Espesor de Tablero (0.5cm) – 3.03% Espesor de Tablero (0.6cm) – 2.021% Espesor de Tablero (1cm) – 2.69%

*Nota.* Esta tabla proporciona los resultados de un estudio realizado con el fin de calcular los parámetros físico-mecánicos de unos prototipos de tejas hechas de Tetra Pak (Castañeda Onofre & Ortega Robles, 2022).

### ***7.2.2 Uso y propiedades físico-mecánicas del PET en ladrillos***

La incorporación de ladrillos fabricados a partir de botellas de PET recicladas en proyectos de construcción ofrece ventajas sostenibles y prácticas. Su uso reduce la demanda de materiales vírgenes como la arena, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y la reducción de residuos. Además, estos ladrillos son ligeros, resistentes a condiciones climáticas y versátiles en aplicaciones constructivas. Su disponibilidad y costo accesible pueden influir positivamente en el presupuesto del proyecto (Santos Arango, 2022).

**7.2.2.1 Composición de ladrillos con PET.** Se componen principalmente de plástico PET reciclado, este plástico proviene de botellas de PET recicladas y se somete a un proceso de limpieza y trituración para garantizar su pureza. Además del PET reciclado, se utiliza un agente aglutinante, como cemento o resinas, para unir y compactar el material en la forma deseada de ladrillos. La combinación de PET reciclado y agente aglutinante se moldea y compacta para crear los ladrillos (Santos Arango, 2022). La ventaja clave de los ladrillos de PET radica en su capacidad para reciclar plástico PET, disminuyendo la demanda de materias primas vírgenes y contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental.

### 7.2.2.2 Matriz de análisis de utilización de PET en ladrillos

**Tabla 2**

*Utilización de PET en prototipos de ladrillos #6*

Estudio	Uso en la construcción	Método de fabricación	Propiedades físico-mecánicas	Resultados de los ensayos
Cuantitativo	Uso del PET como elemento constructivo de bloques de cemento	Para la elaboración de tres prototipos de bloques de concreto #6 (15cm*20cm*39.5cm), remplazando la arena por el plástico PET en proporciones de 12.5%, 25% y 37.5%, fueron necesarios los siguientes pasos: -En primera instancia se adquirió el material PET en un centro de reciclaje, donde ya había pasado por los procesos de lavado, secado y triturado. -Se realizó la mezcla de cemento Portland, arena, PET y agua. -Una vez obtenida la mezcla, se vertió en los moldes y se dejaron los bloques en reposo durante un día. -Luego se movilizaron a una pileta de curado con agua, donde permanecieron por siete días. -Por último, se retiraron de las pilas y fueron almacenados en pilas a cubierto.	Absorción de agua	Proporción de PET (0%) – 11.9% Proporción de PET (12.5%) – 11.9% Proporción de PET (25%) - 11.8% Proporción de PET (37.5%) – 13.1%
			Densidad	Proporción de PET (0%) – 12.63 kg/m <sup>3</sup> Proporción de PET (12.5%) – 12.50 kg/m <sup>3</sup> Proporción de PET (25%) – 12.14 kg/m <sup>3</sup> Proporción de PET (37.5%) – 11.55 kg/m <sup>3</sup>
			Resistencia a Compresión (28días)	Proporción de PET (0%) – 2.83 MPa Proporción de PET (12.5%) – 3.46 Mpa Proporción de PET (25%) – 3.18 Mpa Proporción de PET (37.5%) – 2.71 Mpa

*Nota.* Esta tabla proporciona los resultados de un estudio realizado con el fin de calcular los parámetros físico-mecánicos de bloques de concreto #6 con distintas proporciones de PET en la arena. Cabe resaltar que los bloques se elaboraron con una relación 1:4, es decir el volumen de la arena más PET es 4 veces mayor que el de cemento utilizado (Caballero Meza & Florez Lengua, 2017).

### ***7.2.3 Uso y propiedades físico-mecánicas de las llantas en pisos decorativos***

La utilización de llantas recicladas en la creación de pisos decorativos para proyectos de construcción presenta varias ventajas significativas para el proyecto en cuestión. Esta elección combina elementos de sostenibilidad con un diseño estético atractivo.

Desde una perspectiva ambiental, la reutilización de llantas recicladas en la construcción de pisos decorativos contribuye a la reducción de residuos de neumáticos, que pueden ser difíciles de desechar adecuadamente, al reciclar y darles un nuevo uso, se promueve la sostenibilidad y se evita la acumulación de desechos de llantas en vertederos. En términos de diseño, los pisos decorativos hechos de llantas recicladas ofrecen una apariencia única y atractiva. Las llantas pueden ser cortadas y dispuestas en patrones creativos para lograr un efecto decorativo atractivo (Lopez Tinitana et al., 2020).

**7.2.3.1 Composición de pisos con llantas.** El componente clave de estos pisos es el caucho proveniente de las llantas recicladas. Este caucho se procesa y corta en tiras o segmentos que se utilizan para crear patrones decorativos, estas tiras de caucho se adhieren a una superficie base mediante adhesivos y aglutinantes. La elección de estos adhesivos puede variar según las especificaciones del proyecto y la necesidad de mantener una adhesión duradera (Lopez Tinitana et al., 2020). La composición de estos pisos combina la reutilización de llantas recicladas con la versatilidad de los diseños decorativos. La resistencia y durabilidad del caucho permiten que estos pisos sean adecuados para aplicaciones interiores y exteriores.

### 7.2.3.2 Matriz de análisis de utilización de Llantas

**Tabla 3**

*Utilización de llantas en pisos decorativos*

<b>Estudio</b>	<b>Uso en la construcción</b>	<b>Método de fabricación</b>	<b>Propiedades físico-mecánicas</b>	<b>Resultados</b>	
Cualitativo	Uso de llantas como elemento constructivo de pisos decorativos	Para la obtención de pisos decorativos con llantas recicladas, fue necesario seguir los siguientes pasos: -En primera instancia se separaron las llantas recicladas de los rines, para de esa forma poder pasarlas por la cortadora y trituradora. -Luego una vez triturado el material, se procedió a desmetalizar el granulo, seleccionando únicamente el caucho y desechando el acero. -Ya obtenida la arena plástica (granulo de caucho), se aplicó a los moldes decorativos de PVC. -Posterior a ello, se llevan a una prensa de calor, y una vez fundidos se proceden a enfriar, para de esta forma poder desmoldar y cortar según el diseño deseado.	Absorción de agua	Baja	
			Densidad	Baja	
			Resistencia al impacto	Alta	
			Módulo de elasticidad	Alta	
			<b>Características</b>		<b>Resultados</b>
			Resistencia al transito	Alta	
			Durabilidad	Alta	
Atenuación de ruido	Alta				

*Nota.* Esta tabla proporciona las propiedades y características de los pisos decorativos hechos en base a llantas recicladas, que ya cuentan con un método de fabricación establecido en la industria (Cardona Gómez & Sanchez Montoya, 2011)

### 7.3. Análisis comparativo de las propiedades de los materiales de construcción convencional y reciclado

#### 7.3.1 Análisis comparativo Tetra Pak en Tejas

Teniendo en cuenta los parámetros de la matriz de análisis “Tabla 1” sobre el uso del material Tetrapak en prototipos de cubiertas para techos de viviendas, es posible realizar una comparación entre los parámetros del estudio revisado y los parámetros de materiales convencionales.

**Tabla 4**

*Análisis comparativo entre parámetros físico-mecánicos tejas con Tetra Pak y materiales tradicionales*

Propiedad Físico/Mecánico	Tejas con Tetra Pak (Espesor)			Madera	NTC 2261
	1 (0.5cm)	2 (0.6cm)	3 (1cm=)		
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1252.72	1457.77	1302.07	600	>800
Resistencia a flexión (N)	905	960	2010	110	550
Módulo de elasticidad (MPa)	1100	1320	1950	2000	1500
Absorción de agua (%)	3.03	2.021	2.69	5-6	6

*Nota.* Esta tabla proporciona los parámetros del ensayo (Castañeda Onofre & Ortega Robles, 2022), comparado con el de las cubiertas en base a madera, y el mínimo aceptable según la norma colombiana NTC-2261 “Tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones interiores no estructurales” (Quintero Rueda & Rodríguez Romero, 2015).

Según los anteriores parámetros físico-mecánicos, es posible identificar que:

- La densidad de los tres prototipos cumple con los parámetros establecidos, donde es posible identificar que el valor en el prototipo #3 disminuye respecto al #2, debido a la menor adherencia del material por el prensado de un espesor de teja más ancho.
- El prototipo que presentó mayor resistencia a flexión fue el #3 con un espesor de 1cm, de igual forma los prototipos #1 y #2 superaron los establecidos en materiales convencionales.
- El módulo de elasticidad del prototipo #3 entra dentro de los parámetros identificados, a diferencia de los prototipos #1 y #2, donde sus valores fueron menores.
- En los tres prototipos, el % de absorción de agua disminuyó respecto el aumento de densidad de cada uno, siendo así el prototipo #1 el que mayor % de absorción de agua

obtuvo y aun así se sigue encontrando por debajo de los establecidos. Generalmente una menor absorción de agua representa una mayor resistencia a compresión.

### 7.3.2 Análisis comparativo PET en Ladrillos

Teniendo en cuenta los resultados de la matriz de análisis “Tabla 2” sobre el uso del material PET en prototipos de ladrillos #6, es posible realizar una comparación entre estos parámetros y los parámetros de materiales convencionales establecidos.

**Tabla 5**

*Análisis comparativo entre parámetros físico-mecánicos ladrillos con PET y materiales tradicionales*

Propiedad Físico/Mecánico	Ladrillos con PET				NTC 4205 - NTC 4076
	1	2	3	4	
Absorción de agua (%)	11.9	11.9	11.8	13.1	>5 y <13
Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) - NTC 4026	1696.4	1696.4	1700.2	1664.1	Liviana < 1680 Mediana >1680 <2000 Normal >2000
Resistencia a compresión (MPa) - NTC 4076	2.83	3.46	3.18	2.71	>5

*Nota.* Esta tabla proporciona los parámetros del ensayo (Caballero Meza & Florez Lengua, 2017), donde las proporciones de PET en la arena corresponden a 1= 0% (bloque de concreto común), 2=12.5%, 3=25% y 4=37.5%, comparado con (Beltrán De La Hoz & Fernández Mejía, 2022) el mínimo aceptable para la norma colombiana NTC-4205 “Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos” (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec), 2000) y la NTC-4076 “Bloques y ladrillos de concreto, para mampostería no estructural” (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 1997).

Según los anteriores parámetros físico-mecánicos, es posible identificar que:

- En cuanto al % de absorción de agua, los resultados fueron satisfactorios debido a que los parámetros obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos.
- Según la densidad del prototipo #4, es liviano, a diferencia de los otros prototipos que se consideran con un peso mediano.

- La resistencia mínima a compresión de 5 Mpa según las Normas técnicas colombianas, no cumplieron en ninguno de los cuatro prototipos, por lo que estos bloques deben ser usados para muros divisorios no portantes

### 7.3.3 *Análisis comparativo Llantas en pisos decorativos*

Teniendo en cuenta los resultados de la matriz de análisis “Tabla 3” sobre el uso del material de llantas en pisos decorativos, es posible realizar una comparación cualitativa entre estos parámetros y los parámetros de materiales convencionales.

**Tabla 6**

*Análisis comparativo entre parámetros físico-mecánicos de pisos decorativos con llantas y materiales tradicionales.*

<b>Propiedad Físico/Mecánico</b>	<b>Pisos decorativos con Llantas</b>	<b>Cerámica</b>	<b>Madera</b>
Absorción de agua	Baja	Baja	Variable
Densidad	Baja	Variable	Variable
Resistencia al impacto	Alta	Media	Nula
Módulo de elasticidad	Alta	Nula	Nula
<b>Características</b>			
Resistencia al tránsito	Alta	Media	Baja
Durabilidad	Alta	Alta	Media
Atenuación del ruido	Alta	Nula	Nula

*Not.:* Esta tabla proporciona la comparación cualitativa entre los parámetros físico-mecánicos de los pisos fabricados con material de llantas recicladas y materiales convencionales (Cardona Gómez & Sanchez Montoya, 2011).

Según los anteriores parámetros físico-mecánicos, es posible identificar que:

- La absorción de agua de los pisos decorativos fabricados en base a llantas es baja, debido a la facilidad de cohesión entre sus mismas partículas luego de ser trituradas, con ayuda de prensas calientes.

- En tanto a la densidad de los pisos de llantas, se considera baja debido a la gran adherencia que presenta el material.
- En los pisos decorativos de llantas, la resistencia al impacto es alta debido a la composición del mismo caucho del que están hechas, el cual está compuesto de elastómeros, los cuales ayudan a disipar la energía generada por el impacto.
- El módulo de elasticidad de los pisos decorativos con llantas es alto gracias a la estructura molecular del caucho, donde las fuerzas entre las cadenas poliméricas proporcionan cierta rigidez.

## Conclusiones

Tras la comparación realizada a partir de la información encontrada en la revisión bibliográfica de los estudios seleccionados, en esta monografía de los materiales reciclables evaluados para su uso en la construcción de viviendas, se llegaron a conclusiones significativas.

- Mediante la revisión de literatura sobre la utilización de los materiales Tetra Pak, PET y llantas, en materiales para la construcción de viviendas, fue posible identificar que las principales propiedades físico-mecánicas consideradas para definir la viabilidad en tanto a su uso en el proceso constructivo fueron, la absorción de agua, densidad, modulo de elasticidad, resistencia a compresión y resistencia a flexión.
- Teniendo en cuenta los estudios analizados sobre el uso de los materiales reciclables en la construcción, se logró tener una visión integral y valiosa para comprender las capacidades de estos materiales en proyectos de viviendas sostenibles, de esta forma se estableció que el Tetra Pak reciclado es viable ante la fabricación de tejas, el PET ante la fabricación de ladrillos y las llantas ante la fabricación de pisos decorativos.
- Considerando los parámetros físico-mecánicos establecidos en la revisión de literatura consultada sobre la utilización de Tetra Pak en tejas con tres prototipos de diferentes espesores, PET en ladrillos con 4 prototipos de diferentes proporciones y llantas en pisos decorativos, fue posible comparar los datos registrados con los parámetros de materiales convencionales en la construcción, donde se observó que al menos uno de los prototipos de cada material se encontraba en el rango establecido de los materiales convencionales, por lo cual se concluyó que estos materiales reciclables si son viables para la utilización en la construcción de viviendas.
- Según los resultados de los parámetros físico-mecánicos del estudio seleccionado y revisado sobre el uso del Tetra Pak en la fabricación de tejas, fue posible concluir que el prototipo #3 con un espesor de 1cm cumple con los valores estipulados en la norma NTC2261 y en el material convencional madera, siendo el prototipo que presentó mayor resistencia a flexión, y un porcentaje de absorción de agua por

debajo al establecido, lo que representa generalmente una mayor resistencia a compresión

- En tanto a los ladrillos fabricados con distintas proporciones de material reciclable PET en el estudio seleccionado, fue posible concluir que el prototipo #2, con una proporción del 12.5% PET para la sustituir el agregado fino, es el más viable debido a que obtuvo el mismo valor de absorción de agua y densidad frente a los bloques convencionales fabricados. Por otro lado, se considera que estos bloques deben ser utilizados para la construcción de muros divisorios no portantes, debido a que el valor de la resistencia a compresión fue menor de los 5Mpa establecidos como mínimo por la NTC 4076.
- Al evaluar a los resultados cualitativos del estudio seleccionado sobre las propiedades físico-mecánicas de los pisos decorativos fabricados con Llantas y compararlos con pisos fabricados con cerámica y madera, fue posible concluir que son una alternativa muy viable debido a su alta resistencia al impacto respecto los otros tipos de piso, y a su baja absorción de agua, que por consiguiente provee en estos pisos una vida útil mas larga que los convencionales.

### Referencias Bibliográficas

- Agudelo Varela, M., Rodríguez Miranda, J. P., & Mesa Fernández, D. J. (2020). Manejo oportuno de escombros en Villavicencio Meta, Colombia. *Revista Espacios*, 41(4), 42-55. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n47/a20v41n47p04.pdf>
- Alves Cabral de Freitas, S. M., Nobrega Sousa, L., Estevam, T., Eleotério Martins, M., & Santos Assis, P. (2021). Manufacturing of fired clay brick with iron ore tailing and steel slag. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 41(2), 1-10. [http://professor.ufop.br/sites/default/files/maximo/files/freitas\\_et\\_al\\_2021\\_rlmm\\_1.pdf](http://professor.ufop.br/sites/default/files/maximo/files/freitas_et_al_2021_rlmm_1.pdf)
- Angumba Aguilar, P. J. (2016). Ladrillos elaborados con plástico reciclado (PET), para mampostería no portante. [Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca]. *Repositorio Institucional*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25297>
- Archila Gonzalez, D. J., & Figueroa Parra, G. C. (2017). Análisis de la Resistencia al Corte, Tracción, Flexión y Compresión en probetas de plástico reciclado. [Trabajo de grado, Universidad Gran Colombia]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5517>
- Arenas Cabello, F. J. (s.f). *Los Materiales de Construcción y el Medio Ambiente*. Retrieved 09 de 2023, from Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED): [https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03\\_materiales.html](https://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html)
- Austin, Harry, Allen, M., Donohoe, B., & Beckham, G. (2017). Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyesterase. *PNAS*, 115(19). <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.1718804115>
- Barrera Osorio, D. C. (2010). Análisis de impacto ambiental en la cantera el muelle. [Tesis de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/3279/BarreraOsorioDianaCarolina2010.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Beltrán De La Hoz, L. D., & Fernández Mejía, A. E. (2022). Análisis Comparativo de Propiedades Mecánicas de Bloques de Concreto no Estructurales para Diferentes Dosificaciones de Mezcla Elaborados en el Departamento del Atlántico. [Tesis de grado, Corporación Universidad de la Costa (CUC)]. *Repositorio Institucional*. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/9615>

- Bohórquez Quintero, C., & Ballesteros Bejarano, M. (2016). Reutilización y transformación de llantas usadas como alternativa de mitigación del problema de contaminación en Bogotá. *[Artículo académico, Universidad de la Salle]. Repositorio.* [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2428&context=administracion\\_de\\_empresas](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2428&context=administracion_de_empresas)
- Caballero Meza, B., & Florez Lengua, O. (2017). Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietileno-Tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción. *[Tesis de licenciatura, Universidad de Cartagena]. Repositorio, [Tesis de grado].* <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/4404>
- Cancino Yañez, R. I. (2018). Estructuras de grandes luces con uso de cables y cubierta flexible. *[Trabajo de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional.* <https://1library.co/document/zx5gp22n-universidad-chile-facultad-ciencias-f%C3%ADsicas-matem%C3%A1ticas-departamento-ingenieria.html>
- Cardona Gómez, L., & Sanchez Montoya, L. (2011). Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. *[Tesis de grado, Universidad de Medellín]. Repositorio Institucional.* <https://core.ac.uk/download/pdf/51194716.pdf>
- Castañeda Onofre, F. Y., & Ortega Robles, J. A. (2022). Uso de tetra pack como elemento constructivo de cubiertas para techos de viviendas. *Revista Polo del Conocimiento*, 7(7), 2334-2357. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9042889>
- Cemex. (2019). *Resistencia: donde el desempeño del concreto se pone a prueba.* [cemexmexico.com: \[https://www.cemexmexico.com/quizzes-full-view/-/asset\\\_publisher/uG2W76KBBu5B/content/resistencia-pruebas-y-resultados#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20del%20esp%C3%A9cimen%20se%20calcula%20dividiendo,inciso%20%E2%80%9CColocaci%C3%B3n%20\]\(https://www.cemexmexico.com/quizzes-full-view/-/asset\_publisher/uG2W76KBBu5B/content/resistencia-pruebas-y-resultados#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20del%20esp%C3%A9cimen%20se%20calcula%20dividiendo,inciso%20%E2%80%9CColocaci%C3%B3n%20\)](https://www.cemexmexico.com/quizzes-full-view/-/asset_publisher/uG2W76KBBu5B/content/resistencia-pruebas-y-resultados#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20del%20esp%C3%A9cimen%20se%20calcula%20dividiendo,inciso%20%E2%80%9CColocaci%C3%B3n%20)
- Cifuentes, O. D. (2023). *La importancia del reciclaje de productos PET para la economía circular.* RCN Radio: <https://www.rcnradio.com/estilo-de-vida/medio-ambiente/la-importancia-del-reciclaje-de-productos-pet-para-la-economia>
- Diccionario de Arquitectura y Construcción. (2024). *Resistencia a compresión.* [parro.com.ar: <https://www.parro.com.ar/definicion-de-ensayo+de+compresi%C3%B3n>](https://www.parro.com.ar/definicion-de-ensayo+de+compresi%C3%B3n)

- Dobón Oliver, B. (2019). Materiales de construcción reciclados y reutilizados para la arquitectura sostenible. [*Trabajo de grado, Universitat Politècnica de València*]. *Repositorio Institucional*. Repositorio Institucional UPV: <https://riunet.upv.es/handle/10251/115062>
- Dobrowolska, K. (04 de marzo de 2021). *¿Como afecta la construcción al medio ambiente?* Archdesk. <https://archdesk.com/es/blog/como-afecta-la-construccion-al-medio-ambiente/#:~:text=En%20realidad%2C%20el%20sector%20de,que%20profundizar%20en%20los%20detalles>.
- Ecoembes. (2019). *Tetra Pak: ¿qué es y cómo se recicla?* ecoembes.com: <https://www.ecoembes.com/es/residuos-reciclaje/reciclaje-de-envases/tetra-pak>
- EcoInventos. (2022). *Cómo hacer tejados con Tetrabriks reciclados*. ecoinventos.com: <https://ecoinventos.com/como-hacer-tejados-con-tetrabriks-reciclados/>
- Glosario de Riego. (2022). *Absorción de agua*. riego.org: <https://www.riego.org/glosario/absorcion/>
- Gloval Composites. (s.f). *Guia de resistencia a la corrosión para el Resistencia a la Flexión / Flexural Strength*. Retrieved 08 de 2023, from [globalcomposites.es: https://www.globalcomposites.es/glossary/resistencia-a-la-flexion-flexural-strength/#:~:text=Resistencia%20a%20la%20Flexi%C3%B3n%20%2F%20Flexural%20Strength&text=Resistencia%20de%20un%20producto%20\(durante,de%20fuerza%20por%20superficie%20unitaria](https://www.globalcomposites.es/glossary/resistencia-a-la-flexion-flexural-strength/#:~:text=Resistencia%20a%20la%20Flexi%C3%B3n%20%2F%20Flexural%20Strength&text=Resistencia%20de%20un%20producto%20(durante,de%20fuerza%20por%20superficie%20unitaria).
- Gómez Cardona, L., & Sanchez Montoya, L. (2011). *Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos*. Universidad de Medellin, Medellin.
- Gómez Soberón, J. (2010). *Materiales reciclados y su uso en la construcción*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- González Gómez, J. A., Quevedo Orozco, D. Y., & Álvarez Bobadilla, D. J. (2019). *Materiales y Prácticas de Construcción Sostenible; construcción sostenible en Villavicencio (Meta)*. [*Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia*]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/80307398-56a3-4d51-a681-4ca770b12a6e/content>
- IBP Uniuso. (18 de marzo de 2022). *Qué es el PET*. uniuso.com: <https://www.uniuso.com/blog/glosario/pet/>

- Industrial Physics. (26 de Octubre de 2023). *Pruebas de módulo de elasticidad*. industrialphysics.com: <https://industrialphysics.com/es/base-de-conocimientos/articulos/pruebas-de-modulo-de-elasticidad/>
- Infinitia Industrial Consulting. (2023). *Propiedades mecánicas*. infinitiaresearch.com: <https://www.infinitiaresearch.com/laboratorio-ingenieria-industrial/propiedades-mecanicas/#:~:text=Las%20propiedades%20mec%C3%A1nicas%20de%20un,y%20resistir%20fuerzas%20o%20deformaciones.>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1997). NTC: 4076. *Ingeniería Civil y arquitectura. Unidades (Bloques y ladrillos) de concreto para mampostería no estructural interior y chapas de concreto*. <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4017/Anexo%207%20NTC-4076.pdf?sequence=8>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2000). NTC: 4205. *Ingeniería civil y Arquitectura. Unidades de Mampostería de Arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos*. <https://www.cytarcillasyprefabricados.com/wp-content/uploads/2017/02/NTC-4205-Unidades-de-mamposteria-de-arcilla-ladrillos-y-bloques-ceramicos.pdf>
- Lopez Tinitana, K. M., Zurita, N., Ivonne, C., Ormazza Andrade, J. E., & Erazo Álvarez, J. C. (2020). Modelo de costeo para la construcción de viviendas sustentables en base a material reciclable. *Dominio de las Ciencias*, 6(Extra 1), 498-525. Diatnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7351794>
- Maldonado Álvarez, S. (2023). *Guía sobre el PET: propiedades, producción y aplicaciones*. plastico.com: <https://www.plastico.com/es/noticias/guia-sobre-el-pet-propiedades-produccion-y-aplicaciones>
- Marie Day, M., & Carpi, A. (2023). *Densidad y Flotabilidad. Definiciones y unidades*. visionlearning.com: <https://www.visionlearning.com/es/library/Ciencias-Generales/3/Densidad/37#:~:text=exponer%20este%20fraude.-,La%20densidad%20es%20una%20propiedad%20f%C3%ADsica%20de%20la%20materia%20que,m%C3%A1s%20densa%20es%20la%20substancia.>
- Maxipet S.A . (s.f). *¿Envases de plástico o envases tetra pak?* maxipet.net: <https://maxipet.net/blog/envases-de-plastico-y-envases-tetra-pak#:~:text=Los%20envases%20tetra%20pak%20son%20usados%20principalmente%20>

para el embalaje, conservantes ni refrigeración ahorrando energía.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *¿En qué consiste la construcción sostenible?* minambiente.gov.co: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/>

Mora Castro, J. D. (2021). Reciclaje y reutilización de materiales de construcción en Colombia como aporte a la economía circular. [Tesis de grado, Universidad de la Salle]. *Repositorio Institucional*. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/971](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/971)

Murcia Correa, J. C., & Romero Mendoza, A. R. (2012). Diseño de un sistema primario en el proceso de trituración de llantas usadas desembaladas. [Tesis de grado, Fundación Universidad de América]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/569/1/4101253-2016-2-IM.pdf>

Niño Torres, Á. M., Trujillo González, J. M., & Niño Torres, A. P. (2017). Gestión de Residuos Sólidos Domiciliarios en la ciudad de Villavicencio. Una mirada desde los grupos de interés: Empresa, Estado y Comunidad. *Revista Luna Azul*, 44, 177-187. <https://www.redalyc.org/journal/3217/321750362011/html/>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2007). *Buildings and climate change: status, challenges and opportunities*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://www.unenvironment.org/resources/report/buildings-and-climate-change-status-challenges-and-opportunities>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación. *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2023). *El estilo de vida de hoy en día es insostenible*. un.org: <https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures#:~:text=Cada%20a%C3%B1o%20se%20recolecta%20en,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero.>

Ortiz, O., & Castells, F. (2009). Evaluación de sostenibilidad de materiales de construcción: árido de hormigón reciclado. *Journal of Cleaner Production*.

Ortiz Marín, F. O., Rodríguez Peña, M. A., & Urrego Cortes, L. F. (2023). Aprovechamiento de residuos de material PET en construcción de viviendas tipo rural en Colombia. [Trabajo de

- grado, Universidad EAN]. Repositorio Institucional.*  
<https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/12778/UrregoLina2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pinzón Hormiga, S. (2022). Análisis de la viabilidad de construcción de vivienda rural a partir de materiales reciclados en veredas del municipio de Piedecuesta Santander. [*Tesis de grado, Corporación Universitaria Uniminuto de Dios*]. *Repositorio Institucional.*  
<http://uniminuto-dspace.scimago.es/handle/10656/16552>
- Quintero Rueda, M. L., & Rodríguez Romero, P. A. (2015). Caraterización Mecánica a Flexión y Compresión de elementos cajón armado con laminas aglomeradas de TetraPak considerando los beneficios ambientales de su uso potencial. [*Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana*]. *Repositorio Institucional.*  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21391/QuinteroRuedaMarthaLucia2015.pdf?sequence=3>
- Real Academia Española. (2023). definición de Densidad. *Diccionario de la lengua española, Edición del Tricentenario.*<https://dle.rae.es/densidad?m=form>
- Real Academia Española. (2023). Definición de Llantas. *Diccionario de la Lengua Española, Edición del Tricentenario.* from <https://dle.rae.es/neum%C3%A1tico>
- Rivera Garnica, J. M. (18 de noviembre de 2020). Propiedades mecánicas: Ensayo de Flexión. [*Video*]. *Youtube.* <https://www.youtube.com/watch?v=rjQuM7Nu1tI>
- Rodríguez Rios, D. A. (2021). Estudio del Aprovechamiento de los Residuos De Construcción Y Demolición “RCD” De Villavicencio. [*Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia*]. *Repositorio Institucional.*  
<tps://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/126e06e3-b94e-4a34-8fa3-5a34880cc66a/content>
- Sanchez Ballesteros, J. A. (2022). Revisión Bibliográfica de Materiales Reciclables Para Construcción de Viviendas. [*Tesis de grado, Universidad de Santander*]. *Repositorio Institucional.* Repositorio Digital: <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/7687>
- Santos Arango, C. (2022). La prefabricación como modelo sostenible de construcción : análisis de los materiales de las casas prefabricadas. [*Tesis de grado, Escuela Tecnica Superior de Arquitectura - UPM*]. *Repositorio Institucional.* <https://oa.upm.es/69702/>

- Serviosis. (2020). *El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal*. serviosis.com:  
<https://www.serviosis.com/el-modulo-de-young-o-modulo-de-elasticidad-longitudinal/>
- Structuralia. (2022). Comprueba la resistencia de materiales con el ensayo de compresión. [Blog].  
<https://blog.structuralia.com/ensayo-de-compresion-como-se-hace>
- Tena, C., & Morales, J. (2021). Caracterización de residuos de construcción y demolición para su uso como material de construcción. Estudio de caso: Tamaulipas, México. *Journal of Cleaner Production*.
- Tetra Laval Group. (2018). *¿Cómo vamos en Colombia con el reciclaje?* tetrapak.com:  
<https://www.tetrapak.com/es-co/about-tetra-pak/news-and-events/newsarchive/como-vamos-en-colombia-con-el-reciclaje>
- Tetra Laval Group. (s.f). *Acerca de Tetra Pak*. Retrieved 08 de 2023, from tetrapak.com/:  
<https://www.tetrapak.com/es/about-tetra-pak>
- Torgal, F. (2013). *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste* (1 ed.). Woodhead Publishing. <https://www.sciencedirect.com/book/9780857096821/handbook-of-recycled-concrete-and-demolition-waste>
- Torres, M. (2019). *Llantas recicladas, un material para la construcción*. construible.es:  
<https://www.construible.es/noticias/2029/>
- Unitex Spain. (2023). *Módulo de Elasticidad*. tenso.es:  
<http://www.tenso.es/utilidades/glosario.asp?termino=M%F3dulo%20de%20elasticidad#:~:text=En%20ingenier%C3%ADa%20se%20denomina%20m%C3%B3dulo,Ley%20de%20elasticidad%20de%20Hooke.>
- Universidad de Alicante. (2019). *Resistencia a la flexión*. personal.ua.es:  
<https://personal.ua.es/es/david-benavente/docencia/practicas-de-petrofisica/resistencia-a-la-flexion.html>
- Verduch, A. (1975). Metodo de ensayo para la determinación de la capacidad de absorción de agua de los ladrillos. *Revista Materiales de Construcción CSIC*, 25(159), 97-100.  
<https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1264/1395>
- Zanotti, & Antonucci. (2017). *Caracterización físico-mecánica de áridos procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD) para su uso en la fabricación de nuevos productos de hormigón*.

Zúñiga, D. (2020). *Tetra Pak Innova en la producción de sus envases combinando caña de azúcar y madera*. madera21.cl: <https://www.madera21.cl/blog/2020/01/20/tetra-pak-innova-en-la-produccion-de-sus-envases-combinando-cana-de-azucar-y-madera/>