

PROPUESTA DE MATERIAL PARA CONSTRUCCIÓN A BASE DE FIBRA DE COCO CON ADITAMENTO DE PLÁSTICOS RECICLADOS PARA VIVIENDA SOCIAL

Martínez Valera Elizabeth¹, Magaña Barrera Sara M de J², Soto Aparicio Sergio Enrique³, López Salazar Blanca⁴

¹*Martínez Valera Elizabeth ORCID 0000-0002-4036-7873, Tecnológico Nacional de México, Campus Villa la Venta, La venta Huimanguillo, Tabasco México. Código Postal 86418.*

²*Magaña Barrera Sara M de J² ORCID 0000-0002-3651-9010, Tecnológico Nacional de México, Campus Villa la Venta, La venta Huimanguillo, Tabasco México. Código Postal 86418.*

³*Soto Aparicio Sergio Enrique³ ORCID 0009-0006-3387-7900, Universidad Popular de la Chontalpa, Cárdenas, Tabasco México*

⁴*López Salazar Blanca⁴. ORCID 0000-0003-3715-7231, Tecnológico Nacional de México, Campus Villa la Venta, La venta Huimanguillo, Tabasco México. Código Postal 86418.*

**Autor para correspondencia: mave_sbc@hotmail.com*

RESUMEN

Objetivo: Desarrollar un material de construcción elaborado a partir de fibra de coco y plásticos reciclados, con el fin de evaluar su viabilidad técnica, económica y ambiental para su aplicación en soluciones de vivienda social.

Diseño/metodología/enfoque: La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo y experimental, que involucra la manipulación de las variables independientes fibra de coco y plástico reciclado. El método de muestreo utilizado es intencional, permitiendo la selección deliberada de insumos de acuerdo con el criterio del investigador. Además, el estudio tiene un alcance correlacional, ya que busca determinar el grado de relación entre la fibra de coco y los plásticos reciclados, y cómo su combinación influye en la formulación de un material de valor agregado.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Durante el desarrollo experimental se produjeron varios prototipos del material propuesto. Sin embargo, surgieron importantes limitaciones, principalmente relacionadas con el control de la temperatura, la falta de condiciones adecuadas impidió la correcta dilución del plástico dentro del barril, provocando obstrucciones en la boquilla y dificultando

Fundación Tecnológica Autónoma del Pacífico.
ISSN: 2806-0172 (En Línea).
Cali - Colombia.



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons
Atribución - No Comercial - Sin Derivadas 4.0 Internacional.

Medio de difusión y divulgación de investigación de la Fundación Tecnológica Autónoma del Pacífico.

el flujo del material. Además, se presentó problemas de porosidad y fragilidad durante el proceso de mezclado, afectando la consistencia final del producto.

Resultados: Se obtuvieron materiales para la construcción de ladrillos y tejas.

Hallazgos/Conclusiones: El material desarrollado tiene un peso reducido y una resistencia favorable, que lo convierte en una alternativa potencialmente viable para vivienda social, especialmente en zonas con alta actividad sísmica o altas temperaturas, gracias a sus propiedades de ligereza y aislamiento térmico.

Palabras clave: PET, fibra de coco, materiales, construcción.

ABSTRACT

Objective: To develop a construction material made from coconut fiber and recycled plastics, in order to evaluate its technical, economic, and environmental viability for application in social housing solutions.

Design/methodology/approach: The research is framed within a quantitative, experimental approach, which involves the manipulation of the independent variables coconut fiber and recycled plastic. The sampling method used is purposive, allowing for the deliberate selection of inputs according to the researcher's criteria. Furthermore, the study has a correlational scope, as it seeks to determine the degree of relationship between coconut fiber and recycled plastics, and how their combination influences the formulation of a value-added material.

Limitations of the study/implications: During the experimental development, several prototypes of the proposed material were produced. However, significant limitations arose, mainly related to temperature control, since the lack of suitable conditions prevented the correct dilution of the plastic within the barrel, causing blockages in the nozzle and hindering the flow of the material. Additionally, the coconut fiber exhibited porosity and fragility issues during the mixing process, affecting the final consistency of the product.

Results: Materials for the construction of bricks and tiles were obtained.

Findings/Conclusions: The developed material has a reduced weight and favorable resistance, making it a potentially viable alternative for social housing, especially in areas with high seismic activity or high temperatures, thanks to its lightweight and thermal insulation properties.

Keywords: PET, coconut fiber, materials, construction

INTRODUCCIÓN

La locura por el plástico no se detiene. Un millón de botellas plásticas son vendidas alrededor del mundo

cada minuto, y el número podría crecer en un 20%, y derivar en una crisis medioambiental que, según predicen algunos activistas, será tan seria

como el cambio climático. Entre 5 y 13 millones de toneladas de plástico se fuga en los océanos del mundo cada año para ser ingerida por aves marinas, peces y otros organismos, y para 2050 el océano contendrá más plástico por peso que los peces, según una investigación de la Fundación Ellen MacArthur. (Core, 2017). Schwansee (2007) comenta que, existen buenos motivos relacionados a la importancia del reciclaje del PET entre los cuales podemos mencionar: Un 52% de los materiales plásticos se destinan a la fabricación de embalajes y envases. Un 80% de los desechos de PET se exporta del país para utilizarse en la industria plástica en China, los Estados Unidos u otros países latinos, los cuales bajo un esquema de manejo y alternativas de aprovechamiento podrían ser una buena fuente de empleo e ingresos. (Servín 2013). La escasez de vivienda y las dificultades presenta un gran porcentaje de la población para acceder a ella, en la actualidad hay que pensar nuevas propuestas desde el campo del urbanismo, la arquitectura, la sociología, la economía y la política, entre otros, para solucionarlo (Sánchez, 2012). Siendo el sector de la edificación uno de los más contaminantes del planeta, responsable del 40% de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, nunca está de más replantearse los materiales y sistemas a los que podamos recurrir para la construcción de nuestra vivienda (Ethic 2016). Los materiales plásticos reforzados con fibras son cada vez más demandados. Desde finales de los años cincuenta la industria química, la mecánica del transporte y navegación han progresado de forma exponencial en el empleo de matrices termoestables reforzadas con fibras de vidrio (López S. A., 2004). En la industria

de la construcción la utilización de materiales alternativos empieza a tener importancia en diferentes organismos gubernamentales, privados, así como profesionistas. Pues a medida que evolucionan los materiales prefabricados se abre una línea para la elaboración de productos que tienen como base materias primas de desecho como papel, plástico, aluminio, vidrio, esquimos agrícolas entre otros (Navarro, 2015). Echar mano de materiales reciclados para impedir que se desperdicie todo el capital que ya fue invertido en ellos, incorporándolos a nuevas cadenas productivas y con esta práctica contribuir al desarrollo sostenible (Villegas, 2012). Una de las maneras más eficientes para la disminución de la contaminación del medio ambiente es el reciclaje, esto en los últimos años ha venido evolucionando. Se comprobó que uno de estos es la utilización de la corteza de fibra de coco, esta fibra se recicla y se le da uso en el ámbito constructivo, según investigadores a nivel mundial han enfatizado el uso de fibra natural como material de refuerzo estructural, pues esto permite el ahorro de materiales utilizados en la construcción, disminuyendo la explotación de materiales no renovables. (Rojas, 2015). Los materiales compuestos son estructuras formadas por dos o más materiales macroscópicamente identificables que trabajan juntos para lograr propiedades superiores a las de sus componentes individuales (Gibson, 2011). La combinación macroscópica de dos o más materiales distintos, en el que la matriz constituye la fase continua responsable de transferir esfuerzos y proteger al refuerzo, mientras que la fase reforzante —generalmente fibras, partículas o láminas— aporta

propiedades mecánicas superiores, como mayor módulo elástico, resistencia específica y estabilidad dimensional (Gibson 2016). Las características de las fibras las hacen especialmente atractivas para el desarrollo de nuevos materiales compuestos: baja densidad, gran abundancia, carácter renovable, biodegradabilidad y bajo costo (Paricaguán, 2015). Las fibras naturales, pueden clasificarse por su origen en herbáceas y cañas, como paja de trigo, paja de arroz, coco, bagazo de caña de azúcar; hojas fibrosas, como abacá, sisal, henequén; filamentos largos como, por ejemplo: lino, cáñamo, coco, ramio, yute, etc. y finalmente fibras procedentes de madera, como las coníferas como, por ejemplo: abeto, pino y frondosas como: el abedul, eucalipto y haya (Carrera, 2017). Las fibras de estopa de coco son un aditivo prometedor para bloques de concreto, ya que permiten no solo mejorar la resistencia mecánica, sino también aportar una solución más sostenible (menor impacto ambiental) al aprovechar subproductos agrícolas. Asimismo, sugiere que estos bloques reforzados podrían usarse en aplicaciones no estructurales o semiestructurales (Rojas & Ruiz 2022). La fibra de coco, debido a sus propiedades como resistencia al fuego, a la humedad, a los hongos y su capacidad de aislamiento térmico y acústico, ha sido empleada en una variedad de aplicaciones industriales, incluidas la fabricación de tableros de construcción, láminas para techos y paneles aislantes. Además, se utiliza en compuestos reforzados con fibras, aprovechando sus características de durabilidad y resiliencia (Singh et al., 2023). En particular, las fibras marrones son preferidas para aplicaciones en

ingeniería debido a su mayor resistencia y durabilidad (Sanal, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de investigación es experimental de tipo aplicado, dado que se manipularán directamente las variables independientes —los plásticos reciclados y la fibra de bambú— con el propósito de evaluar su efecto en las propiedades del material compuesto obtenido. El estudio posee un alcance correlacional, ya que busca identificar el grado de asociación y el comportamiento conjunto entre ambas variables, lo que permitirá establecer el proceso óptimo de combinación para generar un material con valor agregado destinado a la construcción. Se empleará el método deductivo, partiendo de conocimientos generales sobre materiales compuestos, reciclaje de polímeros y propiedades de fibras naturales, para llegar a conclusiones específicas sobre el desempeño del material propuesto. Este enfoque facilitará el razonamiento estructurado que conduce al desarrollo de un nuevo producto orientado a la construcción de viviendas de interés social mediante la utilización de recursos sustentables como el plástico reciclado y la fibra de bambú.

Materiales por utilizar

Para el desarrollo de esta investigación es importante mencionar las maquinarias y/o materiales que se utilizaron, a continuación, la tabla 1 muestra el contenido de los materiales utilizados.

Tabla 1. materia prima y maquinaria utilizados para el proceso

MATERIA PRIMA	MAQUINARIA / MATERIALES
Estopa de coco (Fibra)	Máquina Trituradora
Plástico	Máquina de Inyección
	Máquina de ensilar
	Báscula
	Cribadora (separa la fibra corta)
	Moldes
	Guantes de uso industrial
	Grasa (usada en los moldes)
	Desarmadores

Fuente: Elaboración propia

- Máquina trituradora: Ayuda en el proceso de transformar el plástico en pellets para su fácil procesamiento.
- Máquina de inyección: Fundamental en el proceso para pasar el plástico de estado sólido a líquido y esta pueda ser transformada en nuevos materiales.
- Máquina ensiladora: Implementada en el proceso de trituración de la fibra de bambú para su fácil procesamiento y continuar con su siguiente fase de molienda.
- Báscula: Este dispositivo permite pesar la materia prima (plástico y fibra de bambú) para saber las proporciones que se implementaran en cada proceso.
- Cribadora: permite la separación de la fibra corta con la fibra gruesa, consiste principalmente en un proceso de colado a través de diferentes bandejas que cuentan con distintos tamaños de clasificación para posteriormente ser depositados en recipientes o continuar con el proceso de la molienda.

El proceso comienza con la obtención del coco maduro y seco, comúnmente conocido como coco en bola. Este debe estar completamente seco, lo cual es fundamental para facilitar el desprendimiento de la

fibra y evitar problemas de humedad durante el almacenamiento. Antes de iniciar cualquier operación, se realiza una inspección visual de cada unidad de coco con el fin de verificar su estado físico. Los criterios para aceptar un coco incluyen:

- Que no presente humedad superficial ni interna.
- Ausencia de hongos, manchas negras o blancas.
- Que esté completo y sin signos de deterioro biológico.

Solo se seleccionan los cocos que cumplan con estas condiciones, ya que aquellos en mal estado pueden comprometer la calidad de la fibra.

Figura 1. Ejemplar de coco maduro que cumple las condiciones necesarias.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionados, los cocos se cortan manualmente con machete en varias secciones para facilitar su procesamiento en la desfibbradora. Este corte debe permitir una buena separación del mesocarpio sin dañar las fibras, ya que los golpes profundos pueden reducir su longitud y calidad.

Después del corte, los gajos se introducen en la desfibbradora, una máquina que tritura el mesocarpio mediante cuchillas o martillos rotatorios. Este proceso libera las fibras largas y separa los fragmentos duros del endocarpio.

Las fibras obtenidas son expulsadas por la salida de la máquina junto con restos del mesocarpio, polvo y pequeñas partículas que luego deben limpiarse. Para mejorar la calidad del material obtenido, se realiza una separación manual preliminar, donde

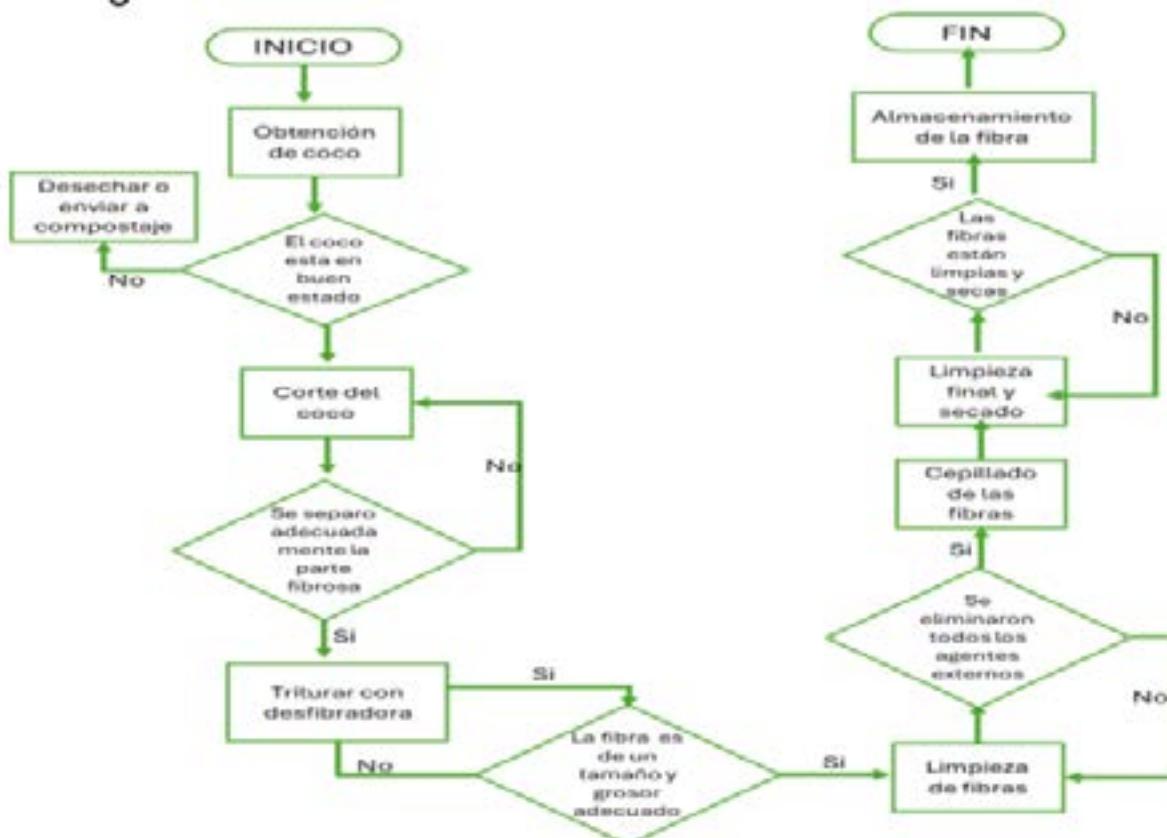
se eliminan los restos más evidentes de materia no fibrosa. Posteriormente, las fibras pasan por un proceso de cepillado utilizando cepillos de alambre, cuya función es separar y alinear las fibras, eliminar restos de polvo o partículas adheridas y mejorar su flexibilidad. Este procedimiento también facilita la clasificación posterior, al permitir observar con mayor claridad la longitud y uniformidad de las fibras individuales. Finalmente, las fibras son lavadas con agua, jabón neutro y colocadas sobre una malla o superficie de secado, donde se airean y se dejan reposar durante un periodo mínimo de 24 horas. Este paso es crucial para eliminar cualquier traza de humedad residual que pudiera haberse conservado durante el proceso, debido a que la humedad es un factor crítico que puede inducir el desarrollo de hongos o deteriorar la resistencia mecánica de la fibra.

Figura 2. Producto final obtenido del procesamiento de la fibra.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3 Proceso de obtención de la fibra de coco



Fuente: Elaboración propia

El reciclaje es una estrategia de transformación utilizada para gestionar los residuos plásticos al final de su vida útil mediante técnicas fisicoquímicas o mecánicas. Los plásticos pueden reprocesarse a través de diversos métodos, cuya viabilidad depende del tipo de polímero, el diseño del envase y el producto contenido. Para su tratamiento, es fundamental separar los materiales en fracciones individuales o al menos compatibles.

En este proyecto se empleará el reciclaje mecánico, el cual contempla las siguientes etapas:

- Identificación y separación
- Trituración para obtener hojuelas
- Remoción de contaminantes (como

etiquetas de papel)

- Lavado
- Secado
- Extrusión para formar pellets, los cuales servirán como materia prima para fabricar nuevos productos plásticos.

Descripción de las etapas

1. Identificación y separación: La separación se realiza manualmente, técnica ampliamente utilizada para recolectar materiales fácilmente distinguibles como papel, cartón, vidrio y plásticos. La identificación del plástico se lleva a cabo considerando su forma, color, apariencia y tipo de polímero.

El material plástico empleado se recolectó en viviendas, en los

contenedores del ITSLV y en el Complejo Procesador de Gas La Venta (CPGLV) de PEMEX. Principalmente se utilizaron botellas de refresco, ya que son los envases de PET más comunes en el mercado.

2. Trituración: La trituración se realizó con una máquina trituradora de plásticos para obtener hojuelas de PET. Este paso es fundamental para facilitar su posterior fundición en la extrusora y asegurar que el material alcance la temperatura adecuada para su procesado.

3.-Lavado: El lavado tiene como objetivo eliminar impurezas presentes en las hojuelas de PET triturado, tales como polvo, azúcar, residuos orgánicos y restos de etiquetas. El resultado

es un PET libre de la mayoría de los contaminantes superficiales, apto para continuar a la etapa de secado.

4.-Secado: Tras el lavado, las hojuelas de PET retienen humedad, la cual debe eliminarse para evitar defectos en la extrusión. Esta fase es crucial, pues la humedad residual puede generar burbujas, degradación o mala fusión del plástico durante la extrusión.

5.-Extrusión: La extrusión es la etapa donde las hojuelas limpias y secas se convierten en pellets, que serán la materia prima para nuevos productos plásticos. Los pellets obtenidos son estables, manejables y reutilizables como materia prima en la fabricación de nuevos objetos de plástico.

Figura 4. Proceso general para la obtención de hojuelas de plástico



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Hojuelas de plástico PET



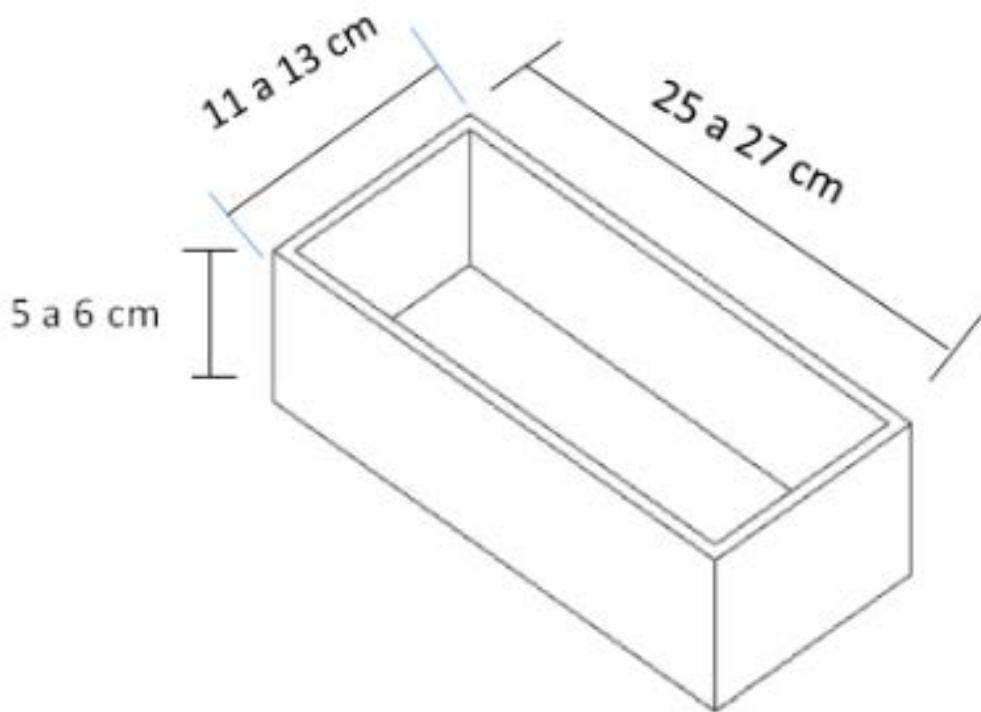
Se utilizó una máquina de inyección de plástico la cual fue diseñada para trabajar con corriente de 110V, puede llegar a trabajar con diferentes temperaturas alcanzando una

temperatura de 400 grados centígrados, de esta forma se puede trabajar con los diferentes tipos de plásticos de acuerdo a su clasificación.

Figura 6. Maquina de inyección de plástico.



Figura 7. Molde utilizado para materiales



Proceso de caracterización de fibras

Medición de la fibra

La caracterización de las fibras obtenidas del coco se llevó a cabo mediante análisis microscópico, con el objetivo de observar su estado físico superficial y determinar el área de cada una de las fibras. Para ello, se utilizó un microscopio óptico de alta resolución que permitió una visualización detallada de la morfología de las fibras, facilitando la identificación de defectos, impurezas o irregularidades estructurales. Durante el análisis, se seleccionaron muestras representativas de la fibra, las cuales fueron colocadas sobre portaobjetos y observadas bajo diferentes aumentos. Esta evaluación visual permitió comparar la uniformidad, limpieza y posibles daños superficiales resultantes del proceso de extracción y preparación.

Figura 8. Fibra de coco vista en el microscopio a 50 aumentos.



Fuente: Elaboración propia).

Ensayo mecánico de tensión (Módulo de Young)

Para la caracterización de las propiedades mecánicas de las fibras de coco, se siguió lo establecido en la

norma ASTM C1557-03 (Reapproved 2008): Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers. Esta norma describe el procedimiento para la preparación, montaje y ensayo de fibras individuales —ya sean obtenidas de un haz o directamente de un carrete— con el objetivo de determinar su resistencia a la tracción y el módulo de Young a temperatura ambiente.

Espesor de la capa

Figura 9. Medición del espesor por capa.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Mediciones de espesor de capa híbrida de la fibra de coco.

NÚMERO DE REPETICIÓN	ESPESOR MEDIDO	PROMEDIO DE ESPESOR
1	0.80 mm	0.7425 mm
2	0.80 mm	
3	0.80 mm	
4	0.75 mm	
5	0.76mm	

NÚMERO DE REPETICIÓN	ESPESOR MEDIDO	PROMEDIO DE ESPESOR
6	0.63 mm	0.7425 mm
7	0.55 mm	
8	0.85 mm	

Colocación de las fibras de coco

En cada uno de los cuadrantes del molde definidos previamente, se coloca un conjunto de 20 fibras de coco, completando así el conjunto de 52 necesarios para formar una capa. Cada conjunto debe alinearse correctamente, respetando las medidas de 6 cm de largo por fibra y distribuirse uniformemente en cada cuadrante. El procedimiento de colocación se repite capa por capa, asegurándose de que cada capa esté correctamente posicionada y alineada. Se utilizan múltiples capas, se deberá

verificar la correcta orientación de las fibras en cada capa con el uso de un goniómetro para medir y aplicar los ángulos de rotación en cada capa de acuerdo con el diseño del laminado. Una vez colocadas todas las capas de refuerzo, se cubre el laminado con el fundido polimérico a través de la máquina de extrusión. Se realizan 7 muestras con diferentes capas de fibras de coco.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3 Resultados de muestras con fibra de coco y PET

MUES- TRAS	EXPERI- MENTALES	VARIABLES EN MOLDE			
		Plástico gr	Temperatura °C	Tiempo Min.	Presión kg/Cm ²
1	52	300	270	20 min	100
2	104	300	270	20 min	100
3	156	300	270	20 min	100
4	180	300	270	20 min	100
5	220	300	270	20 min	100
6	260	300	270	20 min	100
7	300	300	270	20 min	100

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado se obtuvo el material propuesto quedando de esta forma

Figura 10. block de fibra de coco con PET vista de frente



Figura 11. block de fibra de coco vista lateral.



Comparación con material convencional

Se realizo la comparación en relación al peso de los ladrillos con el material convencional encontrando que

el ladrillo de fibra de coco con PET es mucho más ligero que los materiales convencionales, por lo que se realizo una tabla de comparación de pesos de las diferentes muestras.

Tabla 4 comparativa del peso del ladrillo convencional y el de fibra de coco con PET

MUESTRA	CONVENCIONAL	PET CON FIBRA DE COCO
1		1720 gr
2		1705 gr
3		1690 gr
4	2300 gr	1650 gr
5		1652 gr
6		1655 gr
7		1663 gr

Esto nos lleva a que el material que se propone es más ligero en peso y resistente lo cual puede ser factible para las casas de interés social sobre todo en los estados con mayor movilidad sísmica por lo ligero del material, así también se recomienda utilizarlo en regiones donde las temperaturas son altas, puesto que la estopa de coco es un buen aislante térmico. Pero también para muros de interiores dentro de las casas de interés social.

Prueba Indirecta de Porosidad

Se realizo pruebas indirectas de porosidad en todas las muestras con el objetivo de notar si la cohesión es uniforme y en cuanto al llenado del molde, saber si conto con el prensado necesario para no tener burbujas de aire dentro de la pieza, esto se logró con un comparador óptico este solo proporciona una visualización ampliada, los poros superficiales aparecen como áreas oscuras o vacíos.

Figura 12. Muestra sometida al comparador óptico



Tabla 5. resultados generales de prueba de calidad.

Resultados de pruebas de calidad a compresión simple										
Muestra	Dimensiones (cm)			Ensaye a compresión simple			Especificación		Absorción %	
	Núm.. de fibras de coco	Largo	Ancho	Alto	Área (cm ²)	Carga (kg)	Resistencia (kgf/cm ²)	Promedio (kgf/cm ²)	Norma (kgf/cm ²)	
1	180	19.7	9.7	12.3	242.3	8490	35.03	35.03	35	Si
2	104	20	9.5	14	280	660	2.36	2.36	35	No
3	156	20	9.5	13	260	880	10.54	10.54	35	No
4	52	19	9	14.5	276	880	3.66	3.66	35	No
5	220	20	10	13	260	8440	34.08	34.08	35	Si
6	260	20	6.5	10	200	1010	4.4	4.4	35	No
7	300	19.5	5.5	9.7	189	2740	4.6	4.6	35	No

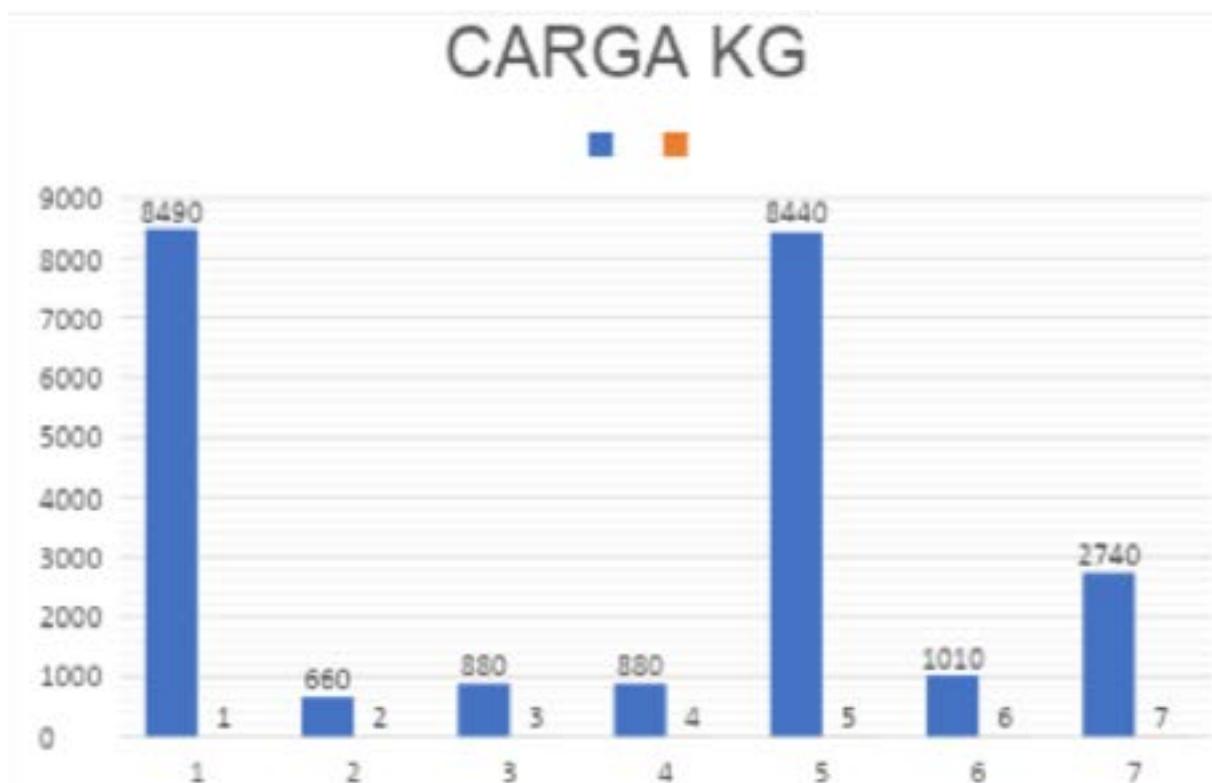
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la norma NMX-C-441-ONNCCE-2011 que exige que la resistencia a compresión sea $\geq 35 \text{ kgf/cm}^2$ solo dos muestras cumplen la norma:

- Muestra 1 $\rightarrow 35.03 \text{ kgf/cm}^2$
- Muestra 5 $\rightarrow 34.08 \text{ kgf/cm}^2$ (casi cumple, pero esta ligeramente por debajo)

Las demás muestras quedan muy por debajo, algunas incluso cerca de $3-5 \text{ kgf/cm}^2$, lo que indica fallas en la compactación, mezcla, o distribución del material.

Grafica 1 cargas aplicadas a las muestras



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 1 muestra la carga máxima aplicada a cada una de las probetas durante el ensayo de compresión simple. Esta representación permite visualizar la variación en la capacidad de carga entre las diferentes muestras evaluadas. Las cargas aplicadas presentan diferencias significativas entre una muestra y otra. Algunas muestras alcanzan cargas muy elevadas (como las Muestras 1 y 5),

mientras que otras muestran valores considerablemente bajos (como la Muestra 2).

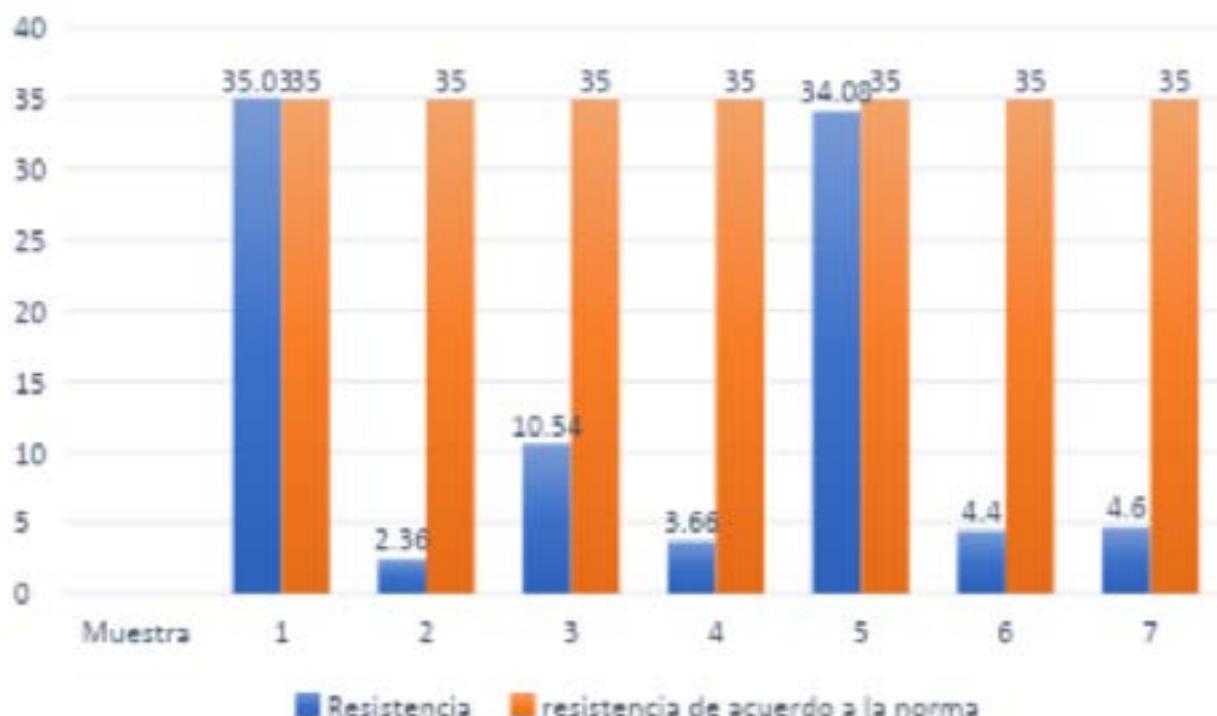
Las Muestra 1 y 5 demuestran mejor cohesión y resistencia estructural, lo que coincide con las resistencias calculadas previamente.

La Muestra 2 presenta la carga más baja aplicada reflejando poca resistencia del material. Esto puede deberse a:

mala distribución del material, menor

contenido de fibras, mezcla deficiente, o falta de compactación adecuada.

Gráfica 2 Resultado de resistencias obtenidos comparados con los que establece la norma NMX-C-441-ONNCCE-2011



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 2 presenta la comparación entre los valores de resistencia a la compresión obtenidos experimentalmente y los valores establecidos por la norma NMX-C-441-ONNCCE-2011, la cual exige que los materiales estén dentro del rango de 2.8 MPa a 3.5 MPa para ser considerados aceptables.

Do s muestras destaca n claramente por encima del resto:

Muestra 1 con 35.03 kgf/cm^2 ($\approx 3.5 \text{ MPa}$). Muestra 5 con 34.08 kgf/cm^2 ($\approx 3.34 \text{ MPa}$).

La muestra 1 cumple y alcanza el límite superior de la norma, mientras

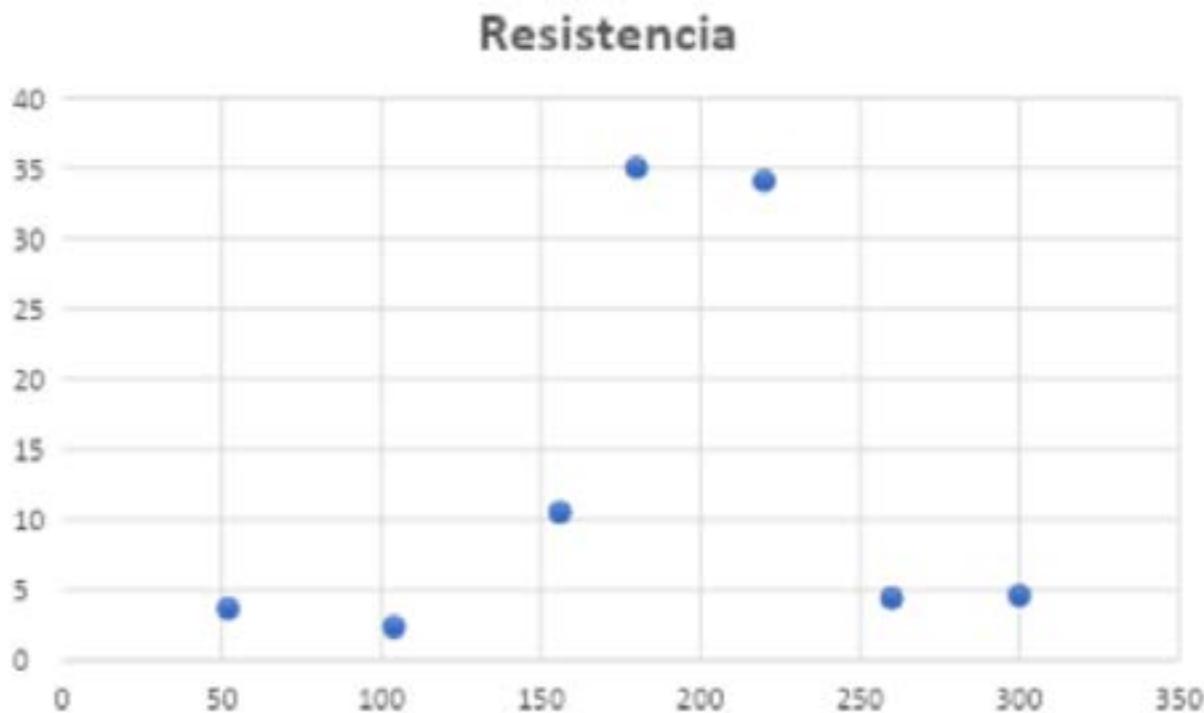
que la muestra 5, aunque sobresaliente respecto a las demás, alcanza los valores normativos.

La mayoría de las muestras quedan por debajo del mínimo normativo, mostrando resistencias entre 2.36 kgf/cm^2 y 4.6 kgf/cm^2 , equivalentes a valores menores a 0.5 MPa , lo cual indica un desempeño insuficiente para clasificarse como material estructural bajo la norma. La muestra con menor resistencia es la Muestra 2, con apenas 2.36 kgf/cm^2 ($\approx 0.23 \text{ MPa}$), evidenciando bajo nivel de cohesión y compactación del material. La grafica muestra una alta dispersión de los valores, lo que indica variabilidad importante en la

calidad de las probetas, posiblemente asociada a diferencias en composición,

proporciones, contenido de humedad o proceso de fabricación.

Grafica 3 Relación entre fibras y resistencia



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 3 muestra que no existe una relación lineal directa entre cantidad de fibras y resistencia. Las muestras con más fibras 260 y 300 fibras obtienen valores muy bajos de resistencia. Esto sugiere que el exceso de fibras debilita la matriz, posiblemente por crear espacios vacíos o impedir la cohesión de los materiales. Las mejores resistencias se dan en rangos moderados de fibras 180 a 220 fibras.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que la combinación de fibra de coco y plástico reciclado (PET)

constituye un material con potencial para aplicaciones en vivienda social; sin embargo, los valores de resistencia obtenidos evidencian una marcada variabilidad entre las muestras. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Gibson (2011, 2016), quien establece que la eficiencia mecánica de los materiales compuestos depende en gran medida de la correcta interacción entre la matriz polimérica y el refuerzo fibroso. En este caso, la falta de homogeneidad en la distribución del PET fundido, así como el comportamiento poroso y frágil de las fibras, afectó directamente la cohesión interna del material.

El análisis de resistencias mostró que solo dos muestras se aproximan o cumplen la norma NMX-C-441-ONNCCE-2011, que establece un rango aceptable entre 2.8 y 3.5 MPa. La Muestra 1 alcanzó 35.03 kgf/cm² el límite superior permitido, mientras que la Muestra 5 con 34.08 kgf/cm² quedó ligeramente por debajo. Este rendimiento superior podría atribuirse a una mejor orientación de fibras o a una relación más adecuada entre fibra y PET, lo cual coincide con reportes previos que indican que la incorporación controlada de fibras naturales puede mejorar la resistencia mecánica de materiales compuestos (Rojas & Ruiz, 2022; Singh et al., 2023).

La baja resistencia de la Muestra 2 (2.36 kgf/cm²) confirma las limitaciones del proceso experimental, especialmente en lo referente al control de temperatura y flujo del PET dentro del sistema de extrusión. Estudios similares han señalado que temperaturas inadecuadas durante el procesamiento del plástico reciclado generan mala fusión, formación de vacíos y menor adherencia entre matriz y refuerzo (Servín, 2013; López, 2004). La presencia de vacíos fue corroborada mediante la prueba indirecta de porosidad, donde diversas muestras mostraron áreas oscuras asociadas a la falta de compactación y atrapamiento de aire.

La gráfica que relaciona la cantidad de fibra con la resistencia confirma que el incremento descontrolado de fibras no se traduce en un aumento de resistencia. De hecho, las muestras con mayor contenido (260 y 300 fibras) mostraron resistencias muy bajas, lo cual coincide con lo expuesto por

Carrera (2017) sobre el efecto negativo del exceso de refuerzo en compuestos de fibras naturales, pues demasiadas fibras reducen la capacidad de la matriz para envolverlas apropiadamente, generando discontinuidades y zonas débiles.

En cuanto al peso, los bloques elaborados con fibra de coco y PET resultaron significativamente más ligeros que los materiales convencionales. Esta característica representa una ventaja relevante para la construcción de vivienda social, especialmente en regiones de alta sismicidad, donde las edificaciones de menor peso reducen las cargas dinámicas durante un evento sísmico. Además, la fibra de coco ha demostrado poseer propiedades térmicas favorables que pueden contribuir a un mejor confort ambiental en zonas cálidas (Sanal, 2016).

Finalmente, los resultados confirman el potencial técnico y ambiental del material propuesto, ya que aprovecha residuos plásticos de PET “uno de los desechos de mayor presencia global” y fibra de coco, un subproducto agrícola abundante. Esta visión está alineada con la necesidad global de fomentar materiales sustentables para el sector de la construcción, el cual es responsable de casi el 40% de las emisiones de CO₂ (Ethic, 2016), y coincide con la tendencia mundial que promueve la reutilización de residuos mediante procesos de reciclaje mecánico (Core, 2017; MacArthur Foundation, 2016).

CONCLUSIÓN

El estudio demostró que es posible desarrollar un material compuesto a base de fibra de coco y plástico reciclado con potencial para aplicaciones en vivienda social. Aunque la resistencia presentada por las muestras es altamente variable, dos formulaciones (Muestras 1 y 5) alcanzaron niveles cercanos o dentro del rango establecido por la norma NMX-C-441-ONNCCE-2011, evidenciando que el material puede alcanzar parámetros aceptables cuando existe una adecuada relación entre matriz polimérica y fibra natural. Además, el material presenta ventajas importantes como menor peso, capacidad de aislamiento térmico

y reducción de residuos plásticos, lo que lo convierte en una alternativa viable y sostenible.

No obstante, las variaciones en resistencia muestran que el proceso requiere optimización, especialmente en temperatura, compactación y distribución de las fibras. Se recomienda continuar con iteraciones del diseño experimental, mejorar el control de proceso y evaluar nuevas proporciones fibra-PET para lograr un material más homogéneo y confiable para aplicaciones constructivas.

REFERENCIAS

- Carrera, G. E. (2017). Física textil Propiedades físicas para caracterizar la calidad de las fibras textiles. creative commons.
- Core. (28 de 06 de 2017). Bienes comunes. Medio ambiente y Naturaleza: <https://www.eldesconcierto.cl/bienes-comunes/2017/06/28/un-millon-de-botellas-por-minuto-en-el-mundo-el-impacto-ambiental-del-plastico-afecta-hoy-hasta-nuestras-comidas.html>.
- Ethic. (2016, mayo). Edificios que luchan contra el cambio climático.
- Gibson, R. F. (2011). Principles of composite material mechanics. CRC Press
- Gibson, R. F. (2016). Principles of Composite Material Mechanics (4th ed.). CRC Press.
- López, S. A. (2004). Influencia del proceso de reciclado sobre las propiedades de los materiales compuestos obtenidos por inyección de poliestireno reforzado con fibras lignocelulósicas.
- Navarro, A. J. (2015). elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de plástico de alta densidad y fibra de estopa de coco. Coquimatlán, colima.
- Paricaguán, M. B. (2015). contribución al estudio del comportamiento mecánico y fisicoquímico del concreto reforzado con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar para su uso en construcción. Naguanagua, Valencia, Venezuela.

Rojas Ramos, E. J. & Ruiz García, D. C. (2022). “Bloques de concreto con incorporación de fibras de estopa de coco Nucifera para mejorar la resistencia a compresión”, Universidad César Vallejo.

Rojas, T. Á. (2015). Adición de la fibra de coco en el hormigón y su incidencia en la resistencia a compresión. Ambato-Ecuador.

Sanal, I. (2017). Bamboo fiber reinforced composites. En D. Verma, S. Jain, X. Zhang, & P. C. Gope (Eds.), *Green approaches to biocomposite materials science and engineering* (cap. 11). Engineering Science Reference. <https://doi.org/10.1201/9781522504252>

Sanal, I. (2017). Bamboo fiber reinforced composites. En D. Verma, S. Jain, X. Zhang, & P. C. Gope (Eds.), *Green approaches to biocomposite materials science and engineering* (cap. 11). Engineering Science Reference. <https://doi.org/10.1201/9781522504252>

Sánchez, C. J. (2012). La vivienda “social “en México. México

Schwansee, E. (2007). Reciclaje de la botella de PET en la zona Metropolitana. México.

Servín, a. N. (2013). propuesta de un programa de manejo de residuos plásticos (PET) como alternativa de sustentabilidad en centros escolares. TUXPAN VERACRUZ.

Singh, B., Ahmad, K. A., Manikandan, M., Pai, R., Ng, E. Y. K., & Yidris, N. (2023). Advanced natural/synthetic polymer hybrid composites of the future for the aerospace industry. En T. Khan & M. Jawaid (Eds.), *Green hybrid composite in engineering and non-engineering applications* (1.^a ed., pp. 80–81). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-1583-5>.

Singh, B., Ahmad, K. A., Manikandan, M., Pai, R., Ng, E. Y. K., & Yidris, N. (2023). Advanced natural/synthetic polymer hybrid composites of the future for the aerospace industry. En T. Khan & M. Jawaid (Eds.), *Green hybrid composite in engineering and non-engineering applications* (1.^a ed., pp. 80–81). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-1583-5>.

Villegas, R. A. (2012). Uso de Materiales Reciclados para la Construcción.

