

ARTÍCULOS

Simulación de paneles estructurales a partir de elementos de plástico reciclado producido en Ecuador

Simulation of structural panels from recycled plastic elements produced in Ecuador



Jazmín Alexandra Acuña Herrera¹, Brigitte Maricela Ortega Campaña², Luisa Paulina Viera Arroba³



jaacuna@uce.edu.ec

¹ Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Ecuador.



bmortega@uce.edu.ec

² Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Ecuador.



lviera@uce.edu.ec

³ Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 20, núm. 2, 2025

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 22 noviembre 2024

Aprobación: 17 octubre 2025

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v20i2.7573>

Autor de correspondencia:

lviera@uce.edu.ec

RESUMEN

Ante la creciente necesidad de soluciones sostenibles en el sector de la construcción, debido al impacto ambiental generado por los residuos y las emisiones asociadas, esta investigación busca contribuir al desarrollo de alternativas estructurales eficientes y responsables. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo determinar las características estructurales de los paneles marco plataforma mediante la simulación de sus elementos estructurales en el software ANSYS. Estos paneles incorporan madera plástica, obtenida a partir de desechos, como componente principal. A través de la metodología de elementos finitos, se analizan las deformaciones y la distribución de esfuerzos internos en distintos puntos del panel. Entre los resultados destacados, se observa que el panel MP2 presenta una mayor resistencia bajo cargas laterales, demostrando mayor rigidez y capacidad de absorción de carga. Adicionalmente los resultados obtenidos en ANSYS fueron corroborados con el software RFEM, así como mediante la comparación con los muros de control, lo que respalda el análisis realizado. De este modo, se confirma la viabilidad de estas estructuras para su integración en el diseño de viviendas, destacando su adaptabilidad a enfoques de deconstrucción y reutilización. Este enfoque se alinea con los principios de la economía circular, al extender la vida útil de los materiales y reducir la generación de residuos, como se establece en el “Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador”.

Palabras claves: madera plástica; plástico reciclado; marco plataforma; paneles estructurales; economía circular.

ABSTRACT

In response to the growing need for sustainable solutions in the construction sector, driven by the environmental impact of waste generation and associated emissions, this study aims to contribute to the development of efficient and environmentally responsible structural alternatives. Accordingly, this research investigates the structural characteristics of platform frame panels through the simulation of their structural elements using ANSYS software. These panels utilize plastic wood, derived from waste materials, as the primary component. By employing the finite element method, deformations and internal stress distributions at various points within the panel are analyzed. Notably, the MP2 panel demonstrated superior resistance to lateral loads, exhibiting enhanced rigidity and load absorption capacity. The findings obtained through ANSYS simulations were validated using RFEM software and cross-referenced with control wall comparisons, thereby reinforcing the reliability and robustness of the analysis conducted. This research substantiates the feasibility of incorporating such structures into housing design, particularly emphasizing their suitability for deconstruction and reuse frameworks. Furthermore, this approach aligns with the principles of circular economy by extending material lifespans and minimizing waste generation, as outlined in “Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador”.

Keywords: plastic wood; recycled plastic; platform frame; structural panels; circular economy.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Cómo citar:

Acuña-Herrera, J. A., Ortega-Campaña, B. M., & Viera-Arroba, L. P. (2025). Simulación de paneles estructurales a partir de elementos de plástico reciclado producido en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 20(2), e7573. <https://doi.org/10.29166/revfig.v20i2.7573>

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción en Ecuador, en el año 2022 contribuyó al Producto Interno Bruto “PIB” con un 10%. Es motor de la economía nacional y genera gran cantidad de trabajo para mano de obra no calificada (Díaz Kovalenko, Larrea Rosas y Barros Naranjo, 2022). A nivel mundial a esta actividad se le atribuye el consumo anual de: 50% de los recursos naturales del planeta, 40% de la energía y el 12% de agua potable, además del 38% de emisiones de gases de efecto invernadero (Ochoa Pesántez y Alvarado Pérez, 2021). Esta problemática puede ser atribuible a los materiales de un solo uso que es mayoritario en la edificación de viviendas, especialmente a nivel local.

El impacto ambiental causado por el uso de plásticos se agrava con el tiempo. En 2021, se estimó que el 85% de los desechos plásticos contribuyeron a la contaminación de los océanos. Se prevé que, para 2040, la cantidad de plástico que terminará en el mar podría triplicarse, alcanzando entre 23 y 37 millones de toneladas anuales, lo que equivale a 50 kg de plástico por cada metro de costa a nivel mundial. Además, estudios han detectado partículas plásticas en aproximadamente el 90% del agua embotellada y el 83% del agua del grifo evidenciando su amplia dispersión y los riesgos que representa para la salud humana y el medio ambiente (Rukikaire, 2021).

Frente a esta realidad, numerosos estudios se han enfocado en la búsqueda de métodos de construcción que empleen materiales reciclados, con el propósito de mitigar el agotamiento de recursos naturales no renovables (Moya, Cevallos y Endara, 2019, pp.21-32). Lo que permitiría reducir los impactos ambientales asociados a la industria de la construcción (González Sánchez, 2019).

Lamentablemente, la tasa de reciclaje es insuficiente y no se lleva a cabo de manera adecuada. Ante estos desafíos, Empresas ecuatorianas como Ecuaplastic y ECOM aprovechan los residuos plásticos, en la fabricación de la denominada “Madera Plástica”, y con ella una amplia gama de elementos, tales como tablonés, tableros, bloques, lo que representa un enfoque prometedor (Sangucho Barros, Velasco Cevallos y Viera Arroba, 2023).

Dentro de los materiales de madera plástica, se distinguen dos principales categorías: el Wood Plastic Composite (WPC) y el Plastic Lumber. El WPC es un compuesto de madera en polvo o fibras mezcladas con polímeros termoplásticos, a veces combinados con residuos orgánicos, lo que optimiza sus propiedades físicas y mecánicas; sin embargo, su rendimiento varía según su composición, lo que impide establecer propiedades estandarizadas (Gardner, Yousoo y Wang, 2015, pp. 139-150). En cambio, el Plastic Lumber es un material 100% reciclado, principalmente a base de polietileno y otros termoplásticos, que se caracteriza por su alta durabilidad, superior a los cien años, y su resistencia al deterioro, lo que lo hace ideal para aplicaciones exteriores como muebles, puertas y paisajismo, siendo adecuado también para proyectos residenciales, institucionales, hoteleros y comerciales (Albán, 2019).

De esto productos existe pocos estudios que definan sus propiedades y su aplicación en la construcción. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo investigar el comportamiento estructural de un marco compuesto por perfiles de sección reducida de madera plástica producida en Ecuador para ser utilizada en estructuras marco plataforma con las cuales sea posible realizar viviendas desmontables, dándole así énfasis a los lineamientos que cita el Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador (Ministerio de Producción y Comercio Exterior e Inversiones y Pesca, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

La simulación de paneles parte de las propiedades mecánicas de los elementos de madera plástica fabricados en Ecuador con Polipropileno “MP1” y Tereftalato de polietileno con cáscara de arroz “MP2”.

Con estos elementos se llevó a cabo el dimensionamiento de la propuesta del panel estructural “Marco Plataforma”. El proceso de simulación en el software ANSYS se realizó utilizando la metodología de Análisis de Elementos Finitos (FEA) y la creación de la forma geométrica utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD) como se observa en la Figura 1.

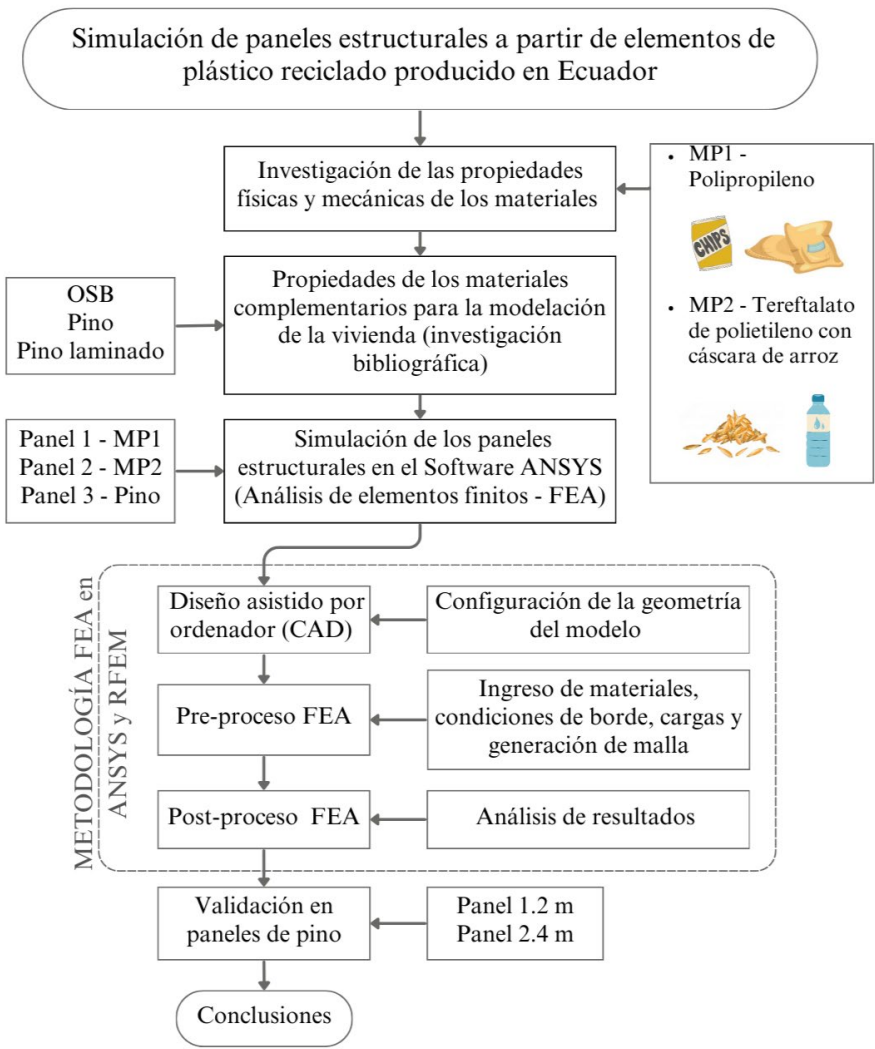


FIGURA 1

Metodología de investigación

A continuación, se incorporan las restricciones y se discretiza el modelo. Lo cual subdivide la estructura en múltiples segmentos de pequeño tamaño conocidos como “elementos” que comparten puntos de intersección llamados “nodos” (Elizarraraz Mendiola, 2019), como se ilustra en la Figura 2b. Los resultados obtenidos del FEA ofrecen información detallada sobre el comportamiento estructural del diseño, permitiendo una evaluación precisa de su rendimiento.

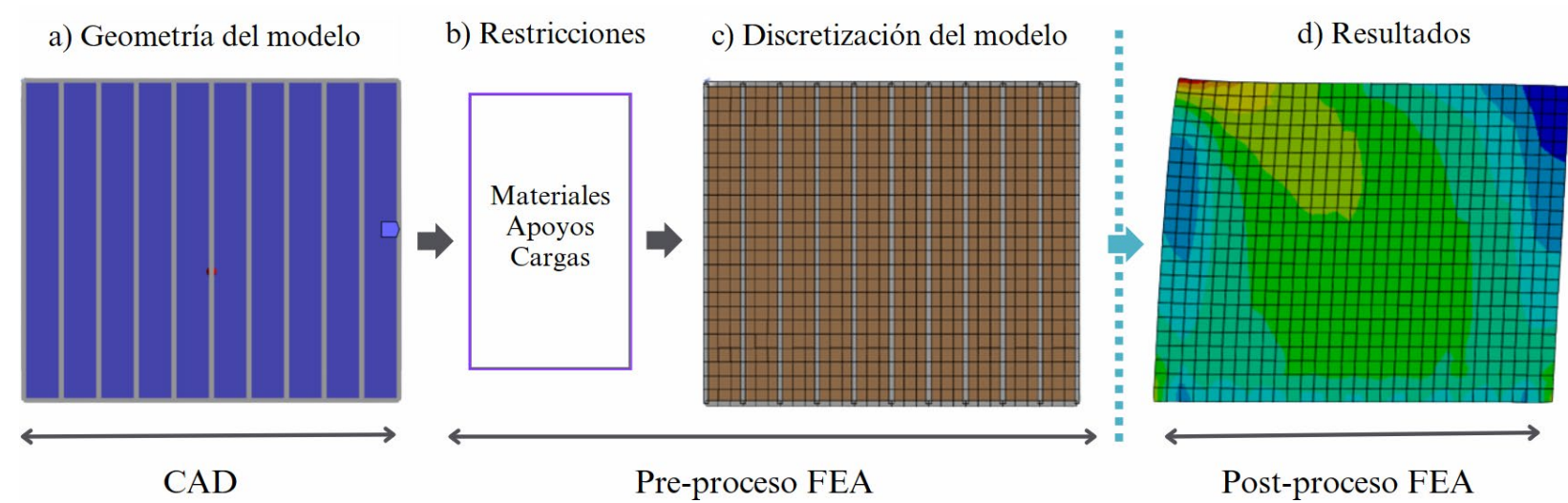


FIGURA 2
Metodología de Elementos Finitos en ANSYS

2.1 Materiales

Se establecieron las características de MP1 y MP2 a partir de la investigación previa realizada (Sangucho Barros, Velasco Cevallos y Viera Arroba, 2023). En la Figura 3 se presenta la estructura física de los elementos, con el propósito de visualizar su textura y estructura interna. En la Tabla 1 y Tabla 2 se detallan las propiedades físicas y mecánicas para los materiales MP1 y MP2.



FIGURA 3
Visualización de MP1 y MP2

TABLA 1
Propiedades físicas y mecánicas de MP1-Polipropileno para modelación en ANSYS

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	0,97	g/cm3
Coefficiente de Poisson	0,41	Adim
Resistencia a flexión	17,02	MPa
Resistencia a tracción	15,11	MPa
Resistencia a compresión	22,43	MPa
Resistencia a cortante	2,88	MPa
Módulo de Elasticidad	983,01	MPa
Módulo de Corte	348,59	MPa

Sangucho Barros, Velasco Cevallos y Viera Arroba (2023)

TABLA 2
Propiedades físicas y mecánicas de MP2-Tereftalato de polietileno para modelación en ANSYS

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	1,21	g/cm3
Coeficiente de Poisson	0,37	Adim
Resistencia a flexión	15,84	MPa
Resistencia a tracción	20,22	MPa
Resistencia a compresión	20,91	MPa
Resistencia a cortante	2,41	MPa
Módulo de Elasticidad	3069,31	MPa
Módulo de Corte	1120,19	MPa

Sangucho Barros, Velasco Cevallos y Viera Arroba (2023)

2.2 Configuración estructural del panel

El panel, se diseñó con una altura de 2,4 m y 3 m de largo, como se muestra en la Figura 4. Con elementos de madera plástica ubicadas en los pies derechos y soleras superior e inferior de secciones 41x135 mm y 40x140 mm para MP1 y MP2 respectivamente. Además, se agregó una placa arriostrante de OSB cuyas propiedades se obtuvieron a partir de la ficha técnica proporcionada por el distribuidor (Cárcamo, 2017).

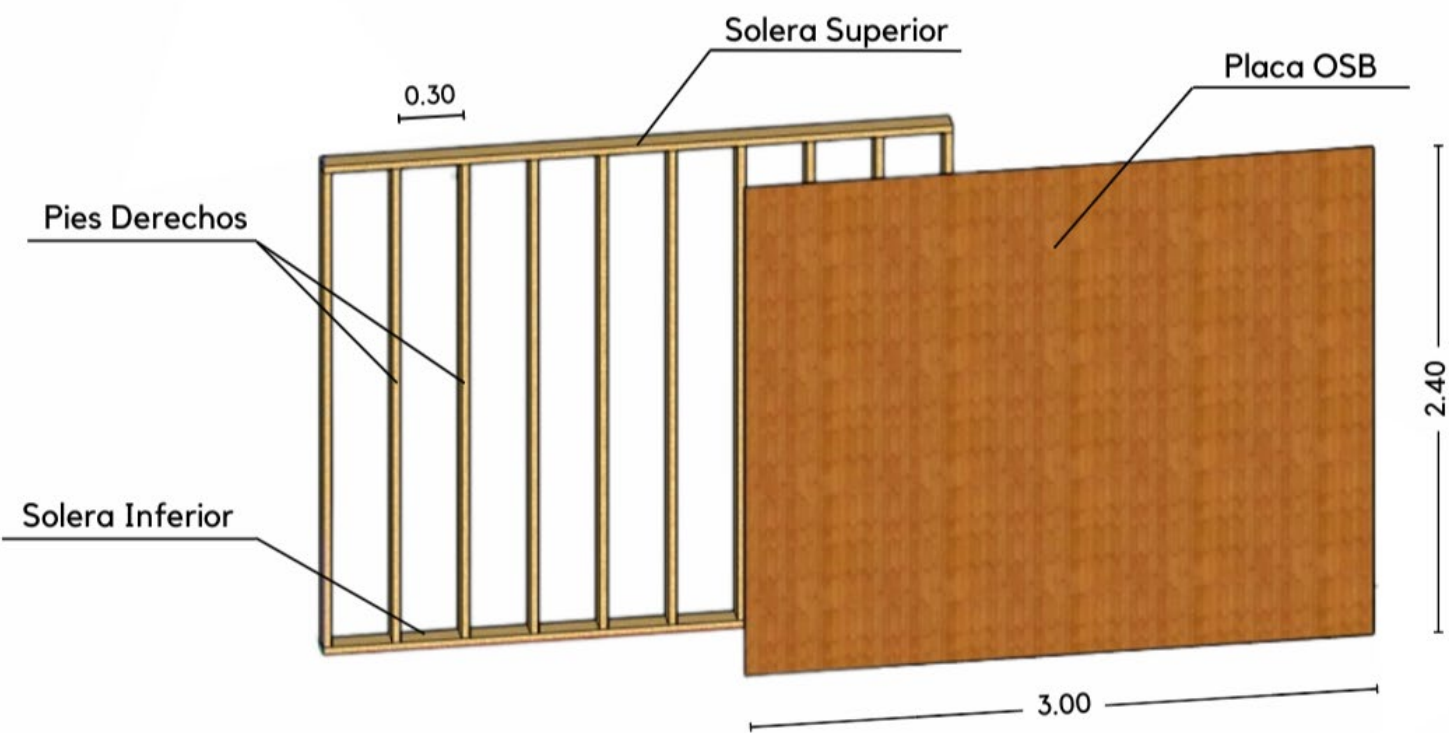


FIGURA 4
Geometría del panel estructural

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se llevó a cabo un análisis para evaluar las deformaciones que experimenta el panel bajo las condiciones de cargas laterales establecidas. El MIDUVI (2014b) establece que la deriva máxima permitida debe ser inferior a los límites establecidos para la deriva inelástica del 2%. Para el cálculo de la deriva máxima inelástica (Δ_M) se emplea la Ecuación 1, en la que se aplica un factor de 0,75, el factor de reducción de resistencia (R) de 1 para madera plástica y 2,5 para madera de pino y su deriva elástica (Δ_E). La deriva elástica se determinó dividiendo la deformación obtenida en el software por la altura total del panel.

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E \qquad \text{Ec. (1)}$$

Del análisis que consideró un rango de cargas laterales desde 10 kN y del cual se obtuvieron 13 resultados de deformación, permitió determinar la capacidad máxima de carga de cada panel. Como se presenta en la Tabla 3, los paneles MP1, MP2 y de pino alcanzan su límite de deriva inelástica (Δ_M) del 1% bajo cargas de 182,81 kN; 285,75 kN y 153,93 kN, respectivamente.

TABLA 3
Desplazamiento máximo

Panel	MP1	MP2	Pino
Carga (kN)	182,81	285,75	153,93
Δ (mm)	32,00	32,00	12,80

Estos resultados no solo demuestran que todos los paneles cumplen con la normativa, sino que el panel MP2 lo hace bajo una carga significativamente mayor (285,75 kN), indicando un margen de seguridad y un desempeño estructural superior al del panel de pino (153,93 kN) y al MP1 (182,81 kN).

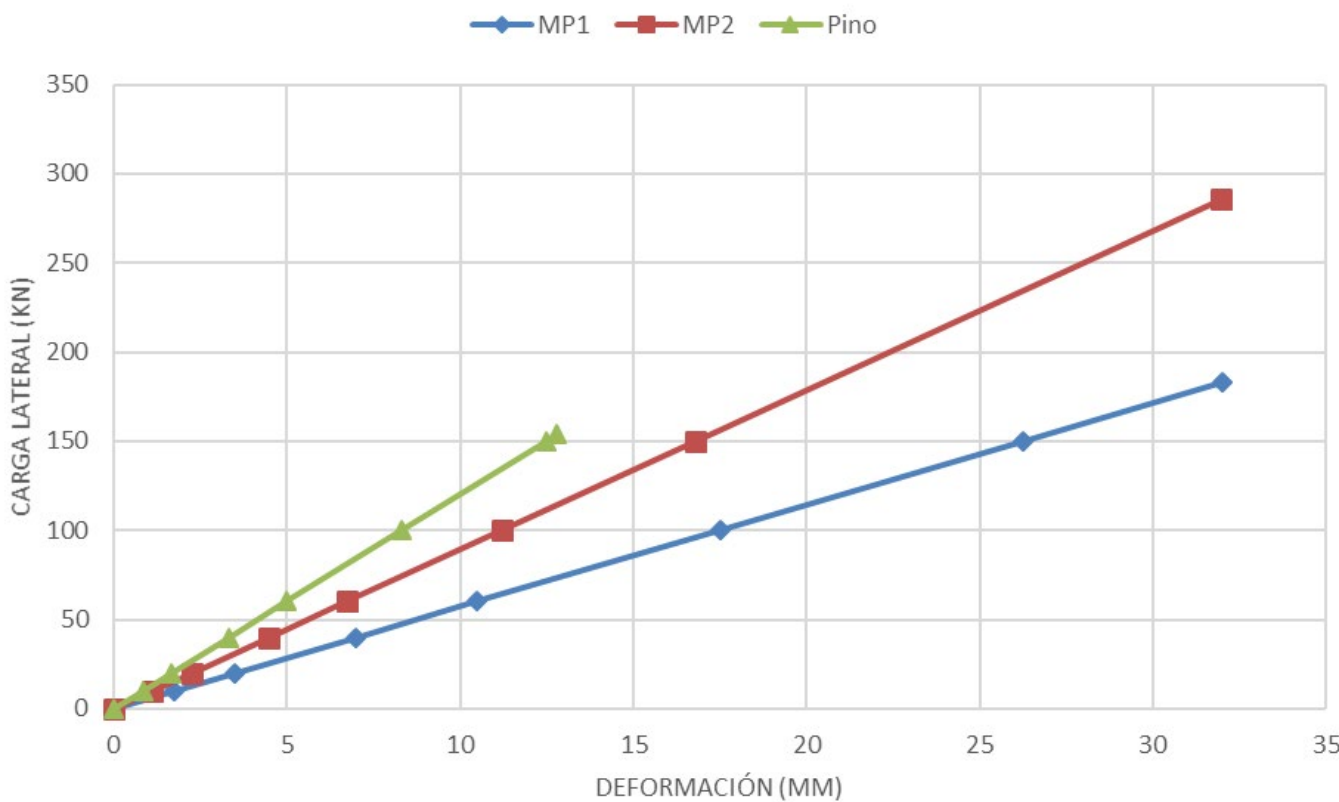


FIGURA 5
Deformación vs Carga lateral

La relación directa entre la carga aplicada y la deformación, visible en la Figura 5, refleja las diferencias en rigidez. El panel MP2, al requerir 228,6 kN para alcanzar una deriva del 1%, confirma ser el más rígido. Este comportamiento se encuentra directamente influenciado por la variabilidad en las propiedades físicas de los materiales empleados en cada uno de los paneles (Sangucho Barros, Velasco Cevallos y Viera Arroba, 2023).

La validación de los modelos numéricos se realizó mediante la comparación de los resultados de rigidez lateral obtenidos tanto en ANSYS como en RFEM con los datos experimentales reportados por Cárcamo (2017), tal como se detalla en la Tabla 4.

TABLA 4
Validación del panel 1 y panel 2

Dimensión		Rigidez lateral		
h	L	Cárcamo	ANSYS	RFEM
cm	cm	kN/mm	kN/mm	kN/mm
244	120	1,08	1,095	1,128
244	240	4,31	4,365	4,433

La consistencia observada entre los valores simulados y los experimentales confirma la confiabilidad de los modelos y los resultados obtenidos. Esta correlación valida de manera concluyente la metodología de simulación por elementos finitos implementada en ANSYS para el modelado del panel estructural, demostrando su idoneidad para verificar el cumplimiento de los requisitos normativos aplicables.

Finalmente, la investigación indica que tanto la estructura interna como la composición de la madera plástica tienen una influencia significativa en sus propiedades físicas y mecánicas. En particular, la incorporación de fibras naturales podría ser un factor que incrementa la rigidez del material.

A partir de los resultados obtenidos, se modeló posteriormente una vivienda de un solo piso, con una superficie de 91 m², utilizando el software RFEM (ver Figura 6). Se determinó que, al emplear paneles estructurales fabricados con elementos de plástico reciclado producido en Ecuador, es posible cumplir con las regulaciones ecuatorianas vigentes, específicamente: NEC-SE-MD (Estructuras de Madera) (MIDUVI, 2014c), NEC-SE-

CG (Cargas No Sísmicas) (MIDUVI, 2014a), NEC-SE-DS (Peligro Sísmico) (MIDUVI, 2014b) y NEC-HS-AU (Accesibilidad Universal) (MIDUVI, 2019). La vivienda cumplió satisfactoriamente con requisitos como el cortante basal, los periodos de la estructura, la participación de carga modal y la verificación de derivas.

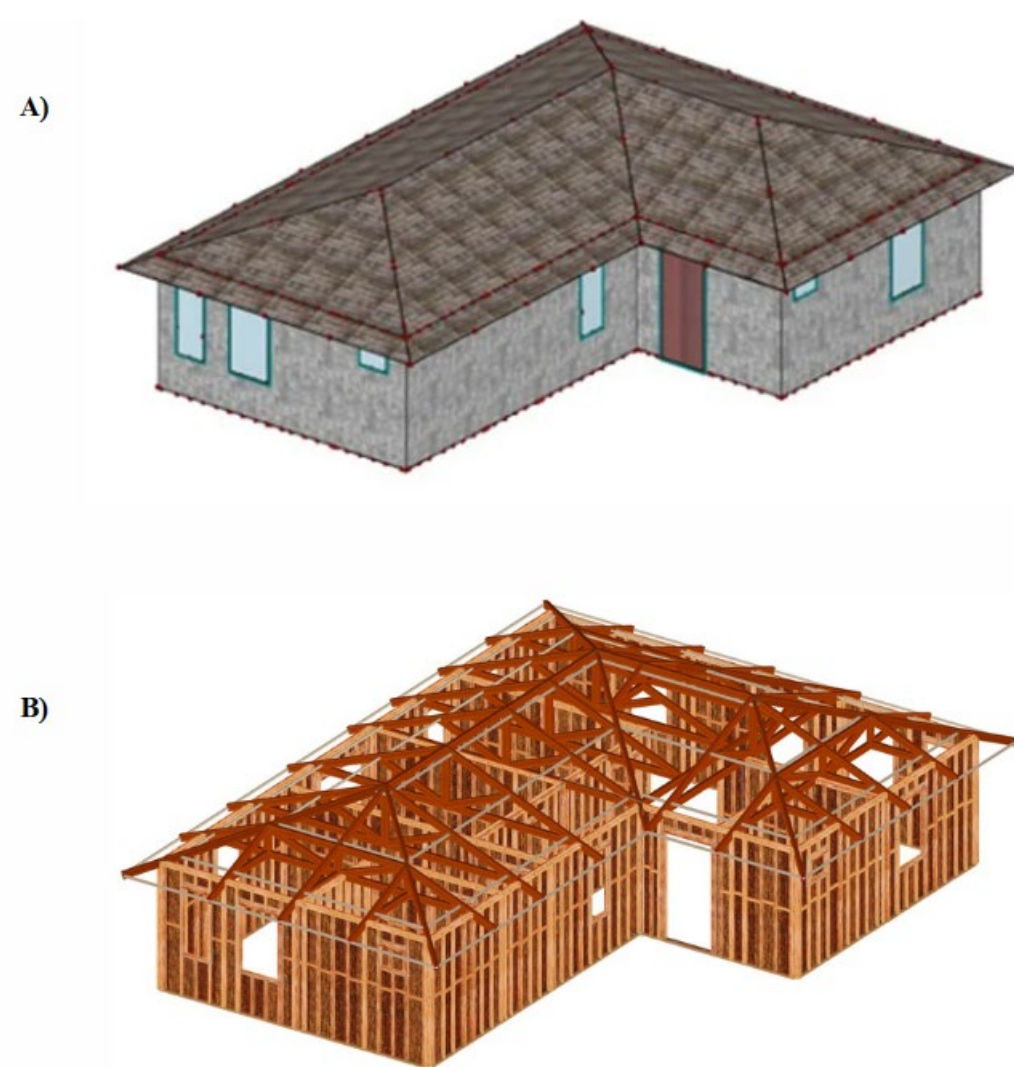


FIGURA 6
Vivienda de madera plástica

CONCLUSIONES

El panel de tereftalato de polietileno reforzado con cáscara de arroz, denominado “MP2,” demuestra una mayor resistencia bajo cargas laterales y una superior capacidad de absorción de carga (ver Tabla. 3). Estas características lo hacen particularmente adecuado para el diseño de paneles tipo marco plataforma.

La simulación realizada en el software ANSYS reveló que el panel de madera plástica MP2 tiene una mayor capacidad para absorber cargas, posicionándose como el material más adecuado para estructuras de tipo marco plataforma.

El análisis de las propiedades de la madera plástica sugiere que la inclusión de fibras vegetales y un tratamiento adicional del plástico contribuyen a mejorar sus características, dando como resultado un elemento completamente sólido.

Los resultados obtenidos en los modelos de simulación en ANSYS y RFEM fueron validados exitosamente, dado que el margen de error fue bajo.

Contribuciones de los autores

Jazmin Alexandra Acuña Herrera: conceptualización, adquisición de fondos, administración del proyecto software, recursos, metodología, visualización, redacción – borrador original.

Brigitte Maricela Ortega Campaña: curación de datos, análisis formal, investigación, software, validación, redacción – borrador original.

Luisa Paulina Viera Arroba: supervisión, metodología, redacción – revisión y edición.

Cesión de derechos y declaración de conflicto de intereses

La revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo conserva los derechos patrimoniales (copyright) de la obra publicada, al mismo tiempo que promueve y permite su reutilización. La obra se publica en edición electrónica bajo la licencia Creative Commons CC-BY 4.0, que permite a los usuarios compartir, copiar y redistribuir el contenido, siempre que se dé el debido reconocimiento a los autores. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES).

Las autoras declaran haber respetado los principios éticos de investigación y estar libre de cualquier conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Albán, A. (2019) *Elaboración de madera plástica a partir de polímeros post consumo*. Tesis de grado. Universidad Técnica del Norte. Disponible en: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8868/1/04%20IND%20144%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Cárcamo, S. (2017) *Modelo de muros marco plataforma para un programa de elementos finitos mediante elementos área*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Disponible en: https://www.madera21.cl/wp-content/uploads/2018/06/CT_Ficha_ING.pdf
- Díaz Kovalenko, I., Larrea Rosas, K., y Barros Naranjo, J. (2022) "El sector de la construcción en la economía ecuatoriana, importancia y perspectivas", *Revista de Ciencias Sociales y Económicas*, 6(2). DOI: 10.18779/csye.v6i2.598
- Elizarraraz Mendiola, H. (2019) "Análisis de esfuerzos de poste troncocónico para distribución eléctrica sometido a cargas eólicas", *Jóvenes en la ciencia*, 6. Disponible en: <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3178>
- Gardner, D., Yousoo, H., y Wang, L. (2015) "Wood-Plastic Composite Technology", *Curr Forestry Rep*, 1, pp. 139-150. DOI: 10.1007/s40725-015-0016-6
- González Sánchez, J. (2019). *Construcción con botellas de plástico: análisis y mejora de elementos y sistemas constructivos estructurales*. Trabajo fin de grado. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: <https://oa.upm.es/54207/>
- MIDUVI (2014a) *Cargas No Sísmicas. Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>
- MIDUVI (2014b) *Peligro sísmico, diseño sismo resistente*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- MIDUVI (2014c) *Estructuras de madera*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf>
- MIDUVI (2019) *Accesibilidad Universal*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/3.-NEC-HS-AU-Accesibilidad-Universal.pdf>
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (2021) *Libro blanco de economía circular de Ecuador*. Disponible en: https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web_mayo102021.pdf
- Moya, J., Cevallos, E., y Endara, E. (2019) "Construcción sostenible a partir del empleo de ladrillos tipo PET", *Ingenio*, 2(1), pp.21-32. DOI: 10.29166/ingenio.v2i1.1632
- Ochoa Pesántez, P. y Alvarado Pérez, M. (2021) *Determinación del consumo energético y emisión de CO2 en los procesos de fabricación del adobe*. Proyecto final de carrera. Universidad del Azuay. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10926>
- Rukikaire, K. (2021) *Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente*. Nairobi: Organización de Naciones Unidas. Disponible en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>
- Sangucho Barros, S., Velasco Cevallos, D. y Viera Arroba, P. (2023) "Propiedades físicas y mecánicas de reciclados de plásticos producidos en Ecuador como material de construcción", *Revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 16(2). DOI: 10.29166/revfig.v16i2.4495