UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

TEMA:

Comportamiento de la madera plástica y aplicación del sistema en la construcción de viviendas.

AUTOR:

Moreano Díaz, Juan Carlos

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de

MAGISTER EN INGENIERIA DE LA CONSTRUCCION

TUTOR:

Ing. Barros Cabezas, José Andres, MSc, PhD.

Guayaquil, Ecuador

15 de abril de 2025

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por el **Ingeniero Civil Moreano Díaz, Juan Carlos**, como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **Magister en Ingeniería de la Construcción**.

DIRECTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

f. _____

Ing. Barros Cabezas, José Andres, MSc, PhD.

REVISOR (A)

f. _____

Ing. Jaime Hernández Barredo, MSc..

DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. _____

Ing. Rommel Yela Acosta, Mgs.

Guayaquil, 15 de abril de 2025

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Moreano Díaz, Juan Carlos**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación: **Comportamiento de la madera plástica y aplicación del sistema en la construcción de viviendas**, previo a la obtención del grado académico de Magister en Ingeniería de la Construcción, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 15 de abril de 2025

Firmado electrónicamente por:
JUAN CARLOS MOREANO DIAZ

f. _____
Ing. Moreano Díaz, Juan Carlos

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

AUTORIZACIÓN

Yo, **Moreano Díaz, Juan Carlos**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría: **Comportamiento de la madera plástica y aplicación del sistema en la construcción de viviendas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 15 de abril de 2025

Firmado electrónicamente por:
JUAN CARLOS MOREANO DIAZ

f. _____
Ing. Moreano Díaz, Juan Carlos

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

REPORTE COMPILATIO

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS JC MOREANO rev JBC - 9 de Febrero de 2025

0% Textos sospechosos

0% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TESIS JC MOREANO rev JBC - 9 de Febrero de 2025.docx
ID del documento: 94163c2c5a1805c8fa2e997a4f98a243c94b80ec
Tamaño del documento original: 22,39 MB
Autores: []

Depositante: Jose Andres Barros Cabezas
Fecha de depósito: 10/2/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 10/2/2025

Número de palabras: 7862
Número de caracteres: 51.217

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucsg.edu.ec | Determinación de la resistencia del hormigón a la que se ... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/514/1/T-UCSG-POS-MIC-5.pdf 5 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (97 palabras)
2	localhost | Centro de Idiomas UCSG. http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/12828/3/T-UCSG-PRE-ARQ-CA-410.pdf.txt 3 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (94 palabras)
3	www.doi.org https://www.doi.org/10.1515/9783110671124-030 1 fuente similar	1%		Palabras idénticas: 1% (99 palabras)
4	localhost | Edificios de servicios académicos UCSG. http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/11845/1/T-UCSG-PRE-ARQ-CA-375.pdf 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (90 palabras)
5	Documento de otro usuario #6358a1 El documento proviene de otro grupo 1 fuente similar	1%		Palabras idénticas: 1% (81 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/12457/1/UPSE-MIC-2024-0015.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	bibdigital.epn.edu.ec https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20158/1/CD 9608.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
3	dx.doi.org | PEAD reciclado reforzado por fibra de vidrio. Aplicación en cubiertas http://dx.doi.org/10.29057/icbi.v10iespecial2.8700	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
4	hdl.handle.net | La Inteligencia Artificial como herramienta de identificación de peni... https://hdl.handle.net/20.500.12544/4498	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
5	dialnet.unirioja.es https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8017016.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)

Fuentes ignoradas
Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	TESIS JC MOREANO rev JBC.docx | TESIS JC MOREANO rev JBC #9280cb El documento proviene de mi biblioteca de referencias	80%		Palabras idénticas: 80% (6394 palabras)
2	repositorio.ucsg.edu.ec | Plan de marketing para el restaurante Smoothie House en... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14782/1/T-UCSG-PRE-ESP-AETH-578.pdf	2%		Palabras idénticas: 2% (142 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec | El aborto como garantía y derecho constitucional. https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8055/1/UPSE-MDC-2022-0024.pdf	2%		Palabras idénticas: 2% (126 palabras)
4	repositorio.ucsg.edu.ec | Uso de los paquetes informáticos de Excel y VBA, para aut... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/5143/1/T-UCSG-POS-MIC-13.pdf	2%		Palabras idénticas: 2% (115 palabras)
5	repositorio.ucsg.edu.ec | Reforzamiento de losa maciza considerando la edad de la ... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/5161/1/T-UCSG-POS-MIC-14.pdf	1%		Palabras idénticas: 1% (101 palabras)

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme tener vida y salud para poder cursar este programa de maestría, a mis papás y mi hermano por inculcarme que el estudio y el trabajo con disciplina te lleva adelante en la vida, a mi esposa por su paciencia y su aguante, a José por su tiempo y amistad, gracias por tu ayuda; y a las demás personas que hicieron posible que pueda concluir este programa.

Ing. Juan Carlos Moreano Díaz

DEDICATORIA

Para mi esposa Belén Silva Salazar y a mis hijas Sofía y Luciana Moreano, todo lo conseguido en mi vida será por y para ustedes.

Ing. Juan Carlos Moreano Díaz

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I 1
1. Descripción del Proyecto 1
1.1. Introducción 1
1.2. Antecedentes 3
1.3. Definición del problema 3
1.4. Justificación del Problema 4
1.5. Objetivos 5
1.5.1. Objetivo General 5
1.5.2. Objetivos Específicos 5
1.6. Hipótesis de la investigación 5
1.7. Diseño y metodología de la investigación 5
CAPITULO II 6
2. Fundamentación 6
2.1. Fundamentación Teórica 6
2.1.1. Desarrollo sostenible 6
2.2. Madera plástica 7
2.2.1. Características de la madera plástica 7
2.2.2. Propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica 8
2.2.3. Fabricación de la madera plástica 9
2.2.4. Ventajas de la madera plástica 12
2.2.5. Aplicaciones de la madera plástica 14
2.2.5.1. Aplicación de la madera plástica en la construcción de viviendas 14
CAPITULO III 15
3. Metodología 15
3.1. Selección del material a ensayar 15
3.2. Pruebas de laboratorio 16
3.2.1. Configuración de pruebas de laboratorio 16
3.2.1.1. Ensayo de flexión de tres puntos 16
3.2.1.2. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta 17
4. Resultados 19
4.1. Resultados de la resistencia a la flexión 19
4.2. Resultados de la resistencia a la tensión indirecta 20
5. Estudio de caso 21
5.1. Descripción del edificio del caso de estudio 25
5.2. Diseño de piso de madera plástica 27
6. Discusión 31
7. Conclusiones 32
8. Bibliografía 33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fabricación de la madera plástica 12
Figura 2: Selección de material a ensayar 15
Figura 3: Ensayo de flexión de tres puntos 17
Figura 4:Ensayo de resistencia a la tracción indirecta 18
Figura 5: Losa N+5.25 desde eje 1 a eje 5 22
Figura 6: Losa N+5.25 desde eje 5 a eje 11 23
Figura 7: Losa N+5.25 desde eje 11 a eje 17 24
Figura 8: Detalle columnas 24
Figura 9: Detalle viga secundaria 24
Figura 10: Superficie de losa 25
Figura 11: Sección transversal de plataforma de acero y losa de concreto 26
Figura 12: Hoja de cálculo para controles de estados límite de tablones de madera plástica 28
Figura 13: Sección transversal de estructura de acero y piso de madera plástica 29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de propiedades mecánicas de algunos proveedores de madera plástica 2
Tabla 2: Resultados de la prueba de resistencia a la flexión 20
Tabla 3: Resultados de la prueba de tensión indirecta 21
Tabla 4: Pesos de la estructura 26
Tabla 5: Costos de estructura de plataforma de acero y losa de concreto 27
Tabla 6: Costos de estructura de piso de madera plástica 29
Tabla 7: Tiempos de construcción 30

RESUMEN

El propósito de este trabajo de titulación es analizar la conducta de la madera plástica y la utilización del sistema en la edificación de viviendas. Para ello, se llevaron a cabo pruebas de flexión y compresión en la madera plástica, además de una evaluación sobre la utilización del sistema en la edificación de viviendas, como un sistema de piso liviano, en lugar de una losa convencional. Los hallazgos evidenciaron que el periodo de edificación del piso de madera plástica es un 28% inferior al del caso convencional. No obstante, si se toma en cuenta el uso habitual de revestimientos en superficies de hormigón, la discrepancia es del orden del 100%. El costo de construcción del piso de madera plástica es un 11% superior al del caso convencional, teniendo en cuenta solo componentes estructurales. No obstante, si se considera el uso habitual de revestimientos en pisos de concreto, la variación en el costo es mínima.

Palabras clave: madera plástica, plástico, aglomerado, características mecánicas, reciclaje, dureza, capacidad de compresión y flexión.

ABSTRACT

The purpose of this degree work is to analyze the behavior of wood plastic and the use of the system in residential construction. For this purpose, flexural and compression tests were carried out on wood-plastic, in addition to an evaluation of the use of the system in residential construction, as a lightweight floor system, instead of a conventional slab. The findings showed that the construction period of the wood-plastic floor is 28% less than that of the conventional case. However, if the usual use of concrete floor coverings is taken into account, the discrepancy is in the order of 100%. The construction cost of the wood-plastic floor is 11% higher than that of the conventional case, taking into account only structural components. However, if the usual use of coatings on concrete floors is considered, the variation in cost is minimal.

Keywords: plastic wood, plastic, chipboard, mechanical characteristics, recycling, hardness, compression and flexural strength.

CAPÍTULO I

1. Descripción del Proyecto

En este capítulo se realiza una introducción del tema a desarrollar donde se establecen los parámetros del comportamiento de la madera plástica como un material elaborado a partir de una combinación de plástico reciclado y fibra de madera; se analizarán las diferentes ventajas en términos de resistencia, durabilidad y estabilidad en comparación con la madera natural y otros materiales de construcción tradicionales y su aplicación del sistema en la construcción de viviendas.

1.1.Introducción

Los materiales denominados “madera plástica” han sido propuestos y utilizados como una alternativa y sostenible solución para la construcción de sistemas estructurales y no estructurales (Vargas et al., 2022). Varias aplicaciones potenciales han sido investigadas en Estados Unidos (Carroll et al., 2001) y América Latina, incluidos Ecuador (Sangucho-Barros et al., 2023), Colombia (López, 2019) y México (García et al., 2013). El material se obtiene mediante un proceso de reciclaje de residuos plásticos, en algunos casos con adiciones de residuos vegetales que, mediante un proceso de calentamiento y extrusión, se le da forma de tablones (Martínez et al., 2017). En general, se propone su aplicación estructural como sustituto de la madera natural (Albiño et al., 2015). Sin embargo, otros (Awoyera, P. and Adesina, A., 2020) han afirmaron que su aplicación en la construcción es limitada debido a su alto costo y falta de regulación, limitando su aplicación a bancas de parques, plataformas de muelles flotantes, cercas, entre otras aplicaciones. Este trabajo evaluará la realidad de esta afirmación para el caso de Ecuador.

En cuanto al uso específico como tablones estructurales, se han llevado a cabo algunas investigaciones sobre las propiedades mecánicas comportamiento de la

“madera plástica” mediante ensayos de flexión, compresión y corte (Breslin et al.,1998) (Carroll, et al., 2001) (Córdoba, et al., 2010). La tabla 1 muestra un resumen de las características mecánicas de la madera plástica según otros autores. Este trabajo de titulación estudia la viabilidad de la aplicación de este material como sistema alternativo en edificaciones con estructura de acero, en contraste con la tradicional losa de hormigón colaborante. En ausencia de un estándar de diseño, este trabajo realiza un análisis experimental y estudio numérico para establecer la incertidumbre de la resistencia de los materiales utilizando la mecánica clásica de materiales.

Ref.	Supplier	Constituent Material	Density $[kg/m^3]$	Compressive strength $[MPa]$	Tensile properties Strength $[MPa]$	Tensile properties Modulus $[GPa]$	Flexural properties Strength $[MPa]$	Flexural properties Modulus $[GPa]$	Shear strength $[MPa]$
[8]	TRIMAX	HDPE and fiber glass	750	12.00	8.60		20.00	2.24	5.00
	Lumber last	Commingled recycled plastic	860	25.90	10.00			0.97	
[24]		PP*	900		28.50	1.53	38.30	1.19	
		PP*+40% WF*	1050		25.40	3.87	44.20	3.03	
		PP*+40% WF* +3% CA*	1050		32.30	4.10	53.10	3.08	
		PP*+40% WF*	1030		28.20	4.20	47.90	3.25	
		PP*+40% WF* +3% CA*	1030		52.30	4.23	72.50	3.22	
**	PlasTEAK	HDPE	664	25.20			15.50	0.77	

* HDPE = High Density Polyethylene, PP = polypropylene, WF = Wood Flour, CA = Coupling Agent
**https://www.plasteak.com/

Tabla 1: Resumen de propiedades mecánicas de algunos proveedores de madera plástica
Fuente: Elaboración propia

Considerando las propiedades del material y la tendencia actual de las normas estructurales respecto al uso de metodologías de diseño basadas en probabilidad, el presente trabajo propone: (1) medir la rigidez a flexión y la resistencia a la tracción indirecta a través de ensayos de laboratorio, (2) estudiar su aplicabilidad como un sistema de piso alternativo, tanto en términos de resistencia estructural y económico eficiencia, considerando como caso de estudio una estructura ubicada en Guayaquil, Ecuador, construida con materiales clásicos.

1.2.Antecedentes

En la actualidad en nuestro país, la responsabilidad social y medio ambiental han tomado protagonismo basados en las leyes, como la Ley de Gestión Ambiental (Ministerio del Ambiente, 2012) que busca proteger y conservar los recursos naturales existentes, en todos los ejes, de esta manera el sector de la construcción, teniendo en cuenta la protección y conservación del medio ambiente ha implementado el uso de materiales de construcción amigables como uno de los aspectos más importantes a considerar dentro de la innovación en las alternativas para la construcción sostenible, siendo la madera plástica formada por 60% madera reciclada (residuos de aserrín) y 40% plástico reciclado o en algunos procesos suele estar fabricado al 100% material reciclado (Rincón et al., 2016), uno de los materiales con más probabilidades de aplicación en la construcción de viviendas.

Sin embargo, en el Ecuador existen pocas empresas que fabrican este producto, debido al poco conocimiento sobre el proceso de fabricación, y su escaso entendimiento de las características o ventajas de este material como la rentabilidad, sostenibilidad, facilidad de uso, durabilidad al considerar que el plástico tarda mucho en descomponerse en el medio ambiente y su diversidad de aplicación que permite que se pueda producir o trabajar en una variedad de ámbitos o ejes de la construcción. (Contreras Pérez et al., 2020)

1.3.Definición del problema

Los residuos se obtienen diariamente a través del desarrollo de la actividad humana y su impacto significativo debido a la contaminación ambiental, causando consecuencias negativas, como la creación de especies dañinas, el calentamiento global y los efectos de invernadero. Por ejemplo, los vertederos sanitarios, en el que una gran cantidad de desechos plásticos acumulados, enfatiza su naturaleza de alta

contaminación de la lenta degradación de los materiales orgánicos, pueden extenderse de 150 a 400 años. Este planteamiento subraya la urgencia de abordar el problema de los residuos desde una perspectiva ambiental y sostenible para mitigar los impactos adversos en el medio ambiente.

En el Ecuador la tecnología de reciclaje de residuos no está tan desarrollada como en otros países de América Latina, pero en los últimos años, a medida que los parámetros de desarrollo y construcción han avanzado, se han considerado nuevas metodologías constructivas dando cabida a la aplicación de materiales elaborados de plástico o de productos reciclados.

Teniendo en cuenta la problemática planteada y de acuerdo con el objetivo de esta investigación se determina el problema de investigación: ¿Es factible implementar madera plástica en reemplazo de ciertos materiales de construcción convencionales para la construcción de viviendas, con el fin de optimizar de costos, tiempo y recursos naturales empleados, considerando la calidad y resistencia del producto generado?

1.4. Justificación del Problema

La presente investigación se desarrolla con el propósito de analizar y estudiar el comportamiento de la madera plástica como material de construcción compuesto por el reciclaje de residuos plásticos dándole de esta manera un segundo uso al plástico desecho, determinando características y parámetros que validen técnicamente su procesamiento, producción y aplicación como un sistema alternativo en la construcción. Adicionalmente, se busca definir y establecer parámetros que permitan certificar y validar su uso como componente de una estructura, por medio de estudiar sus propiedades mecánicas.

1.5.Objetivos

1.5.1.Objetivo General

Estudiar el comportamiento de la madera plástica mediante la realización de ensayos y evaluar su viabilidad económica para la aplicación del sistema en la construcción de viviendas.

1.5.2.Objetivos Específicos

- Evaluar la capacidad de flexión y carga axial en la madera plástica.
- Analizar la factibilidad financiera del sistema en la edificación de viviendas, como un sistema de piso liviano en lugar de una losa convencional.

1.6.Hipótesis de la investigación

Al conocer el comportamiento de la madera plástica como material de construcción se podrán determinar las propiedades mecánicas de la misma pudiendo cuantificar y calificar su potencial para la construcción de viviendas.

1.7.Diseño y metodología de la investigación

El diseño de investigación empleado se estructura en dos etapas: metodología exploratoria y metodología analítica.

CAPÍTULO II

2. Fundamentación

2.1.Fundamentación Teórica

La necesidad de buscar alternativas sostenibles en la creación de materiales debido al deterioro del medio ambiente y al agotamiento de los recursos naturales destaca la importancia de utilizar tecnologías y materiales reciclables para reducir el impacto ambiental y aprovechar para efectos del presente análisis los desperdicios de manera beneficiosa. El foco del presente trabajo es la madera plástica, presentándola como un producto innovador y ecológico con propiedades mecánicas que permiten su aplicación en diversos entornos y tipos de construcción. Se subraya su potencial como sustituto de la madera natural, resaltando así su contribución a la sostenibilidad y la preservación de los recursos forestales.

2.1.1. Desarrollo sostenible

La importancia del desarrollo sostenible mediante la implementación de prácticas respetuosas y preservadoras del medio ambiente en los sistemas productivos y economías, debiendo enfatizar la necesidad de adoptar un enfoque tecnológico amigable con el entorno para garantizar la disponibilidad de recursos para las generaciones futuras (Castro Alfaro, A., & Marrugo-Salas, L., 2018). Se introduce la noción de responsabilidad social empresarial, específicamente en el ámbito ambiental, como un imperativo para la supervivencia de las organizaciones, considerando la creciente conciencia ambiental a nivel global por parte de la ciudadanía. Este planteamiento refleja la integración de aspectos ambientales en la toma de decisiones empresariales como una medida esencial para la sostenibilidad a largo plazo.

2.2.Madera plástica

Las propiedades positivas de la madera plástica extienden la vida útil de las construcciones. Este material considerado como "madera ecológica" debido a su contribución a la conservación del medio ambiente y al proceso de reciclaje que por referencia a sus propiedades prolongan la durabilidad de las construcciones se cataloga como un material de construcción alternativo o innovador al prevalecer la importancia de la sostenibilidad y el reciclaje reduciendo el impacto ambiental en el ámbito de la construcción. (Santiago, et al., 2009)

2.2.1. Características de la madera plástica

Las diferentes características y propiedades de la madera plástica que la clasifican como material para su uso en construcciones:

- Aislante térmico y eléctrico: La madera plástica proporciona aislamiento y electricidad, lo que lo ayuda a ser adecuado para las aplicaciones necesarias para controlar los equipos de calor o eléctrico.
- Permite el moldeo: La capacidad de las formas de madera de plástico lo hace popular entre la capacidad de diseñar y adaptarse a las diferentes necesidades.
- Facilidad de manipulación: Este material es fácil de cortar, pegar, perforar y clavar, lo que facilita su manipulación durante la construcción
- Alta versatilidad: Su habilidad para ser moldeada y manejada, sumada a otras características, la hace un material sumamente adaptable que puede ajustarse a múltiples usos en la edificación.
- Resistencia a los cambios climáticos y corrosión: La madera plástica exhibe resistencia frente a los cambios climáticos y a la corrosión, lo que la convierte

en apta para ser utilizada en diversos entornos sin experimentar perjuicios importantes.

- Resistencia a la humedad: En comparación con la madera natural, la madera plástica es menos susceptible a la absorción de agua y al deterioro provocado por la humedad. Esto la convierte en perfecta para zonas que están expuestas a la lluvia o a la humedad.
- Resistencia a los insectos y hongos: En contraste con la madera natural, la madera plástica no está expuesta a la presencia de insectos como las termitas y no tiene tendencia a deteriorarse debido a la presencia de hongos.
- Durabilidad: La madera plástica puede resistir las condiciones climáticas extremas sin sufrir deterioro. Posee una durabilidad superior en relación con ciertos tipos de madera natural.
- Bajo mantenimiento: Necesita un cuidado reducido en comparación con la madera convencional. No requiere ser pintada ni sellada de manera constante.
- Sostenibilidad: La madera plástica, al emplear plásticos reciclados en su producción, ayuda a disminuir los desechos y promueve la sostenibilidad.

Estos atributos resaltan la flexibilidad y capacidad de adaptación de la madera plástica, lo que la hace una elección atractiva para múltiples usos en el sector de la edificación. La capacidad de resistir condiciones climáticas adversas y la facilidad de manipulación son aspectos que pueden contribuir a su popularidad en proyectos de construcción sostenible. (Arandes, et al., 2004)

2.2.2. Propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica

La caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica es esencial para evaluar su idoneidad y comportamiento en aplicaciones de construcción

(Rincón, et al., 2016). Entre las propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica tenemos:

- Caracterización Física

Densidad: La densidad se refiere al cálculo de la masa por unidad de volumen. Dentro del ámbito de la madera plástica, la densidad puede tener un impacto en su resistencia y habilidad estructural.

Dureza: La dureza se refiere a la capacidad del material para resistir la penetración o deformación. La evaluación de la dureza ofrece datos acerca de la resistencia superficial de la madera plástica.

- Caracterización Mecánica:

Ensayos de Compresión: Estos experimentos determinan la habilidad del material para soportar fuerzas de compresión. La información obtenida es vital para entender la capacidad de carga y la estabilidad del material frente a cargas de compresión.

Ensayos de Flexión: Las evaluaciones de flexión determinan la capacidad del material para doblarse o deformarse bajo un esfuerzo. Esto ofrece datos acerca de su conducta en circunstancias donde se ejerce fuerza en forma de flexión.

Estos ensayos facilitan la recolección de información cuantitativa acerca de las características físicas y mecánicas de la madera plástica, lo cual es esencial para comprender su comportamiento en contextos de edificación. Los hallazgos de estas pruebas son útiles para apoyar la elección de incorporar la madera plástica en prototipos de edificación e investigar su aplicación en materiales de edificación a gran escala. (Santiago et al., 2009)

2.2.3. Fabricación de la madera plástica

Las etapas de la fabricación son las siguientes:

1.El procedimiento inicial para la adquisición de madera plástica, que implica la **recuperación y categorización correcta de plásticos reciclados** como origen para la producción de madera plástica (Escola, et al., 2003), de acuerdo con el siguiente detalle:

- Recuperación de plástico reciclado: El procedimiento inicia con el reciclaje de plástico. Este plástico puede originarse en diferentes sitios, tales como centros de recolección o plantas de reciclaje, donde se reúnen y categorizan los materiales aptos para ser reciclados.
- Separación de plásticos reciclados: Después, se realiza la diferenciación de los plásticos reciclados. Este procedimiento conlleva la categorización de los distintos tipos de plásticos en función de sus propiedades y características. Es fundamental la separación para asegurar la calidad y la uniformidad de los materiales empleados en la producción de la madera plástica.

2.La **molienda del material plástico** en molinos trituradores para obtener la materia prima, conocida como pellets de plástico (Contreras Pérez et al., 2020), tiene el siguiente procedimiento:

- Molienda del material plástico: Tras la recuperación del plástico reciclado, se realiza la trituración del material en molinos trituradores. Estos molinos utilizan energía mecánica para fragmentar y disminuir la dimensión de los residuos plásticos.
- Obtención de pellets de plástico: Este procedimiento conduce a la obtención de la materia prima en forma de "pellets de plástico". Estos pellets son bolitas o fragmentos de plástico de tamaño reducido, que adquieren formas esferoidales o columnares a causa del procedimiento de trituración.

- Características de los pellets: Los pellets de plástico son uniformes y de fácil administración. Poseen características homogéneas y son adecuadas para su empleo como insumo en la producción de madera plástica.

La obtención de pellets de plástico es un paso crucial en la producción de madera plástica, ya que estos pellets se convertirán en el componente principal para la creación del material compuesto. (García-Velázquez et al., 2013)

3.La fase subsiguiente al proceso de trituración de plásticos en la fabricación de madera plástica consiste en la **homogeneización del material** a través de la aglutinación.:

- Proceso de homogenización: Tras la trituración de los plásticos, se lleva a cabo el proceso de unificación del material mediante la aglutinación. En esta fase, el objetivo es conseguir una mezcla justa de los distintos plásticos y materiales.
- Máquina aglutinadora: Se emplea una máquina de aglutinación que incluye cuchillas de rotación. Estas hojas, al moverse, producen fricción en el material molido. Este procedimiento de fricción calienta el plástico, condensa el material y simplifica la combinación uniforme de los distintos elementos.
- Objetivo de la homogenización: El propósito central de este procedimiento es generar una combinación homogénea y equilibrada de los distintos plásticos y materiales triturados. Es fundamental la homogenización para asegurar la uniformidad en las características del material que se genera.
- Durante la fase de homogeneización, se aporta a la calidad y uniformidad del material empleado en la producción de madera plástica. El método de aglutinación utilizando cuchillas rotatorias calentadas por fricción es un componente esencial del proceso productivo para obtener un producto final consistente y de excelente calidad. (Picón Pérez, 2022)

4.El **procedimiento de extrusión** resulta crucial para la producción precisa y eficaz de artículos de madera plástica. Permite la producción en serie de una variedad de formas y tamaños, asegurando la uniformidad y calidad del producto final. El corte del material moldeado cierra el ciclo de producción, obteniendo así el producto final listo para su uso en construcción u otras aplicaciones (Rincón et al., 2016), el proceso es el siguiente:

- En la etapa de extrusión, el material homogeneizado se vierte en una tolva y luego se transporta a través de un tornillo sin fin. Este rodamiento lleva los granos de plástico a un molde. Conforme el material se mueve, la temperatura se incrementa, provocando así la fusión del plástico.
- Formación del producto: Al concluir la extrusora, el material fundido posee el molde de la figura que se desea formar. La mezcla de presión y temperatura facilita la creación del plástico fundido de acuerdo a las características del molde.
- Corte del material moldeado: Una vez finalizada la extrusión y obtenido el producto deseado, se realiza el corte del material que ha sido modelado. Esto implica separar el producto final de la corriente continua de plástico extruido.

Figura 1: Fabricación de la madera plástica

Fuente: Elaboración propia

2.2.4. Ventajas de la madera plástica

Las diversas ventajas asociadas al uso de madera plástica, destacando los beneficios para la sociedad y el medio ambiente:

- Reducción de la tala de árboles: La utilización de plástico reciclado como materia prima disminuye la necesidad de tala de árboles, contribuyendo a la conservación de los recursos naturales. (DiCYT, 2019).
- Higiene y facilidad de limpieza: La madera plástica es limpia y puede ser lavada con cualquier tipo de detergente, lo que simplifica su limpieza y conservación.
- Resistencia a rajaduras y astillas: La madera plástica es limpia y puede ser lavada con cualquier tipo de detergente, lo que simplifica su limpieza y conservación.
- Alta durabilidad: En contraste con la madera natural, la madera plástica muestra una durabilidad elevada, lo que la convierte en una madera más resistente al desgaste y a las condiciones meteorológicas desfavorables. (Tobón, V., & Villegas, L., 2017)
- Resistencia a insectos y roedores: No es susceptible a insectos o roedores, lo que evita dificultades habituales vinculadas a la madera natural.
- Bajo mantenimiento: Su cuidado es fácil dado que no necesita anticorrosivos ni pesticidas, comúnmente usados en las maderas naturales.
- Aplicación en cualquier clima: Es aplicable en todo clima, ajustándose a diversas condiciones del entorno.
- Hipoalergénica: No causa alergias de contacto, lo que la convierte en apta para su uso en diferentes usos.
- Baja generación de partículas: Durante la instalación y limpieza, no produce partículas en el entorno, fomentando así un ambiente más puro.
- Rápida fabricación y reutilización: La fácil producción y la capacidad de reutilización debido a su elevada durabilidad favorecen la eficiencia y la sostenibilidad del material.(Córdoba et al., 2010)

Estos beneficios resaltan el efecto beneficioso de la madera plástica en aspectos de sostenibilidad, durabilidad y seguridad, lo que la hace una alternativa atractiva para múltiples usos.

2.2.5. Aplicaciones de la madera plástica

2.2.5.1. Aplicación de la madera plástica en la construcción de viviendas

Tiene una diversidad de usos entre los que se destaca:

- Revestimientos exteriores
- Decks y terrazas
- Barandas y pasamanos
- Componentes estructurales
- Muebles de exterior
- Cercas y vallas
- Aplicaciones interiores: En ciertas situaciones, se emplea en usos interiores como revestimientos para paredes, aunque su uso más habitual se realiza en el exterior.

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1. Selección del material a ensayar

Para realizar los ensayos se adquirió el material a la empresa Madera Plástica Ecuador, la cual proporcionó información técnica del producto y se obtuvieron las muestras cortadas para los dos ensayos. Las muestras fueron numeradas del 1 al 20, respectivamente. Como se muestra en las figuras a continuación.

Figura 2: Selección de material a ensayar

Fuente: Elaboración propia

3.2.Pruebas de laboratorio

3.2.1. Configuración de pruebas de laboratorio

Se realizaron dos tipos de ensayos para caracterizar el material. Las figuras siguientes muestran las configuraciones de los dos tipos de pruebas, las cuales consistieron en lo siguiente:

3.2.1.1.Ensayo de flexión de tres puntos

Se ensayaron probetas de tamaño nominal 40x40x160 mm en una configuración de tres puntos, con un espacio de ensayo de 120 mm entre soportes de ensayo. Las pruebas se realizaron en un banco de carga Humboldt, con anillo calibrado de la misma marca serie H-4454.100-4312 y capacidad de carga de 50 kN. La Figura 3 muestra la configuración de la prueba. Esta prueba debe seguir la norma ASTM D6109 (ASTM-D6109, 2024); sin embargo, el tamaño de las muestras se adaptó a las limitaciones del equipo de laboratorio disponible y a las capacidades de fabricación de los proveedores de materiales. Esto se hizo de esta manera con el fin de evaluar la variabilidad en tamaño y peso por producción.

Figura 3: Ensayo de flexión de tres puntos

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2.Ensayo de resistencia a la tracción indirecta

Se ensayaron muestras de tamaño nominal de 50 mm de diámetro y 25 mm de espesor en configuración de compresión diametral. Los ensayos se realizaron en el mismo banco y con el mismo anillo de carga que el ensayo de flexión, pero cambiando el módulo para el ensayo de compresión. La Figura 4 muestra la configuración de la prueba.

Figura 4: Ensayo de resistencia a la tracción indirecta

Fuente: Elaboración propia

4. Resultados

4.1.Resultados de la resistencia a la flexión

La Tabla 2 resume los resultados obtenidos de 20 especímenes, en términos de peso, tamaño y carga última. El cálculo del esfuerzo de flexión máximo se realizó utilizando la teoría clásica de vigas de Bernoulli, que se muestra en la Ecuación (1):

$$\sigma = \frac{M}{S} \qquad (1)$$

Donde M = PL/4 es el momento flector interno máximo, P es la carga aplicada en el centro del claro, L es la longitud del claro entre apoyos y S es el módulo de sección elástica. Como se muestra en la Tabla 2, la resistencia a la flexión promedio es igual a 39,40 MPa, con un coeficiente de variación (COV) de 0,03. En cuanto a la variabilidad de las dimensiones de la probeta, se observó un coeficiente de variación de 4,3 × 10−3, mientras que la densidad promedio resultó igual a 2038,2 kg/m3 = 19,994 kN/m3 con un coeficiente de variación de 7,4 × 10−3.

No.	Peso [gr]	Longitud [mm]	Base [mm]	Altura [mm]	Densidad [kg/m3]	Carga [Kn]	Esfuerzo [σ = Mc / I] [Mpa]
1	570	160,4	41,4	42,0	2043,70	15,557	38,34
2	567	160,3	41,5	42,0	2029,30	15,779	38,80
3	558	160,4	41,6	41,4	2019,90	15,335	38,71
4	564	160,2	41,6	41,5	2039,30	15,335	38,53
5	564	160,5	41,7	41,4	2035,50	16,002	40,30
6	554	160,1	41,1	41,6	2023,90	16,224	41,06
7	562	160,4	41,1	41,6	2049,30	14,668	37,12
8	568	160,3	41,6	41,1	2072,40	15,557	39,85
9	562	160,6	41,4	42,0	2012,50	16,002	39,44
10	568	160,5	41,3	42,0	2040,20	15,335	37,89
11	570	160,6	41,6	42,2	2021,70	16,002	38,88
12	567	160,6	41,7	41,4	2045,00	16,446	41,42
13	559	160,7	41,4	41,6	2019,80	15,557	39,09
14	569	160,7	41,6	41,7	2041,10	16,224	40,37
15	568	160,5	41,4	41,8	2045,00	15,113	37,61
16	563	160,5	41,5	41,7	2027,00	16,002	39,91
17	559	160,6	41,3	41,4	2035,70	16,224	41,26
18	569	160,5	41,8	41,4	2048,60	15,557	39,09
19	567	160,4	41,7	41,3	2052,50	15,779	39,93
20	570	160,6	41,7	41,3	2060,80	16,002	40,50
				Promedio =	2038,2	15,74	39,40

Desviación estándar =	15,0	0,4	1,2
Coeficiente de variación =	7,37E-03	2,81E-02	3,07E-02

Tabla 2: Resultados de la prueba de resistencia a la flexión
Fuente: Elaboración propia

4.2.Resultados de la resistencia a la tensión indirecta

La Tabla 3 resume los resultados obtenidos de 20 probetas cilíndricas, tanto en términos de peso y tamaño, como de carga resistente. El cálculo del esfuerzo de tracción indirecto máximo se realizó con la Ecuación (2):

$$\sigma = \frac{2P}{\pi DL} \qquad (2)$$

Donde P es la carga aplicada, D y L son el diámetro y el espesor de la muestra, respectivamente. Los resultados muestran una resistencia a la tensión promedio de 3,27 MPa, con un COV de 0,187. Estos resultados están muy por debajo de los observados por otros autores (ver Tabla 1) y de los resultados de la prueba del apartado anterior; sin embargo, se espera que sea más representativo de la resistencia a la tracción ya que el ensayo presentado en la sección anterior puede estar sujeto a un aparente aumento de resistencia debido a una posible acción de arco. En este sentido, los resultados de variabilidad de densidad y dimensiones del apartado anterior siguen siendo representativos de la fabricación, pero esos resultados de resistencia se ignorarán a continuación.

No.	Peso [gr]	Diámetro [mm]	Espesor [mm]	Carga [kn]	Esfuerzo [τ = 2P / πA] [Mpa]
1	113	51,4	25,8	8,668	4,16
2	115	52,3	25,7	5,556	2,63
3	113	52,0	26,0	8,001	3,77
4	113	52,0	25,7	8,890	4,23
5	113	51,4	25,7	6,667	3,21
6	114	52,3	25,6	5,112	2,43
7	114	52,1	25,7	5,556	2,64
8	112	51,1	25,7	6,223	3,02
9	113	52,2	25,7	6,445	3,06
10	115	52,4	25,7	4,667	2,21

11	113	52,2	25,7	6,890	3,27
12	113	52,3	25,8	5,778	2,73
13	113	52,3	25,7	6,445	3,05
14	113	52,2	26,0	8,890	4,17
15	114	51,8	25,6	5,778	2,77
16	113	52,1	26,0	7,779	3,66
17	113	52,0	25,6	6,890	3,30
18	113	52,1	26,1	8,668	4,06
19	113	52,2	25,4	7,334	3,52
20	113	51,9	25,7	7,556	3,61
			Promedio =	6,89	3,27
Desviación estándar =				1,3	0,61
Coeficiente de variación =				0,19	0,19

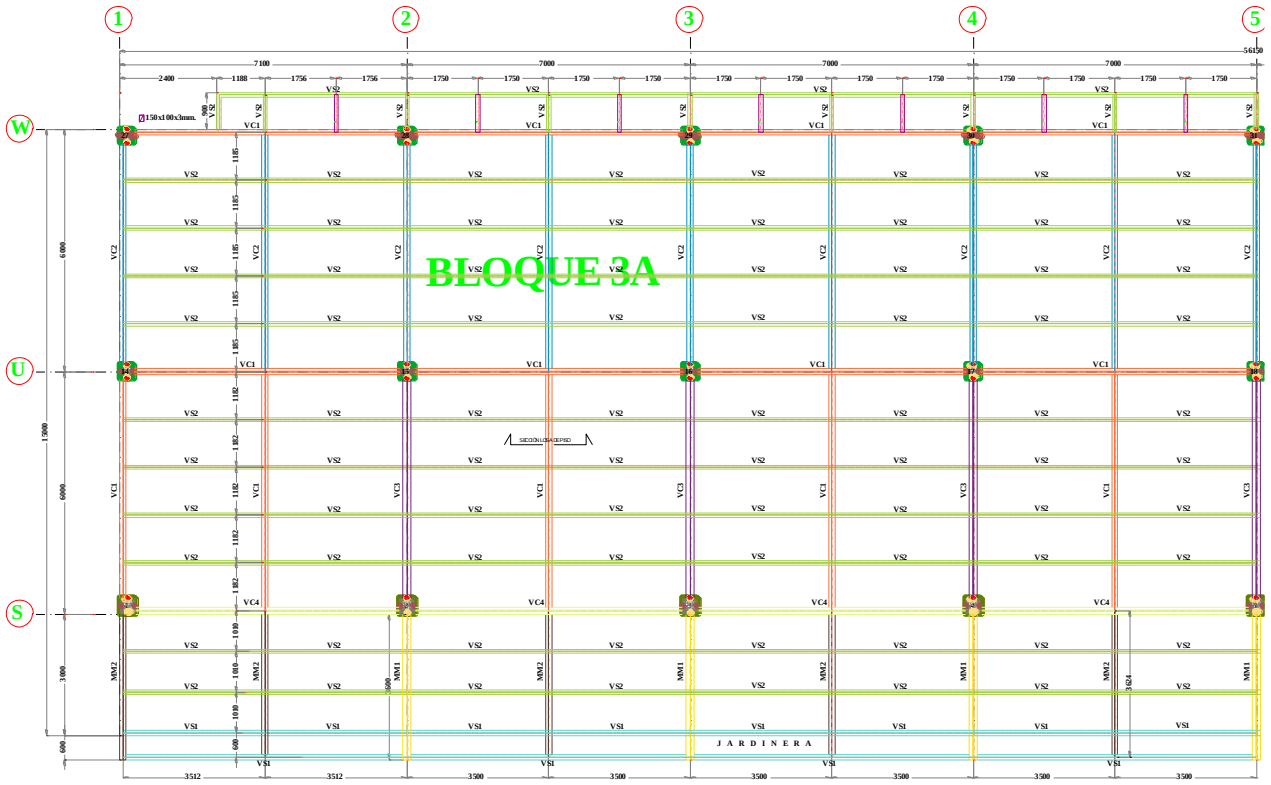
Tabla 3: Resultados de la prueba de tensión indirecta
Fuente: Elaboración propia

5. Estudio de caso

En esta sección se proporciona un análisis comparativo en términos de costos y tiempo de ejecución para la construcción de una estructura de piso para un edificio educativo en Guayaquil.

El análisis comparativo entre un diseño clásico de losa compuesta (es decir, una plataforma colaborativa de acero con una losa de concreto reforzado), en adelante denominada estructura original, y un diseño de piso de madera plástica. En la siguiente sección se describe la estructura original. (ver Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10).

BLOQUE 3



LOSA N+5.25

Figura 5: Losa N+5.25 desde eje 1 a eje 5

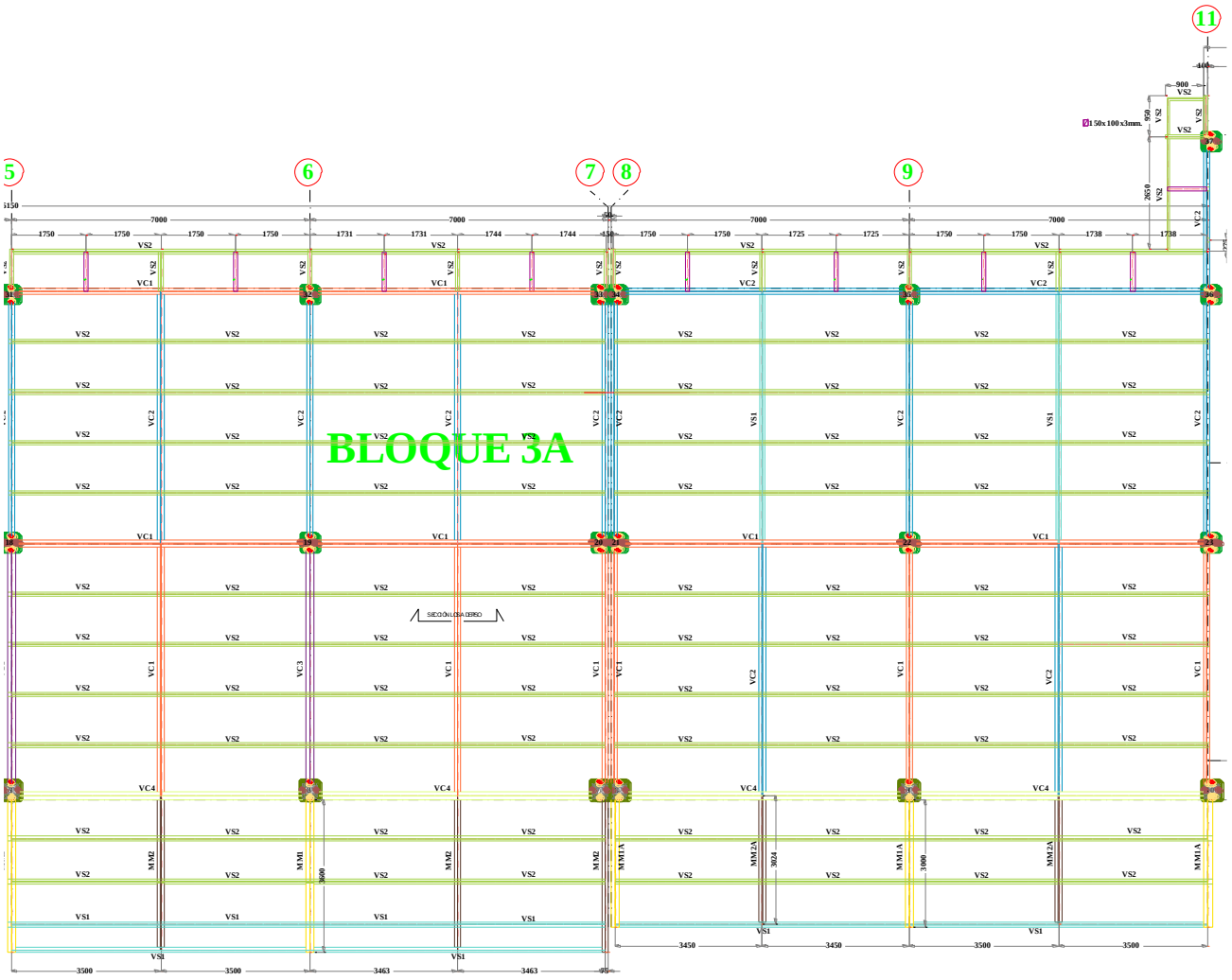


Figura 6: Losa N+5.25 desde eje 5 a eje 11

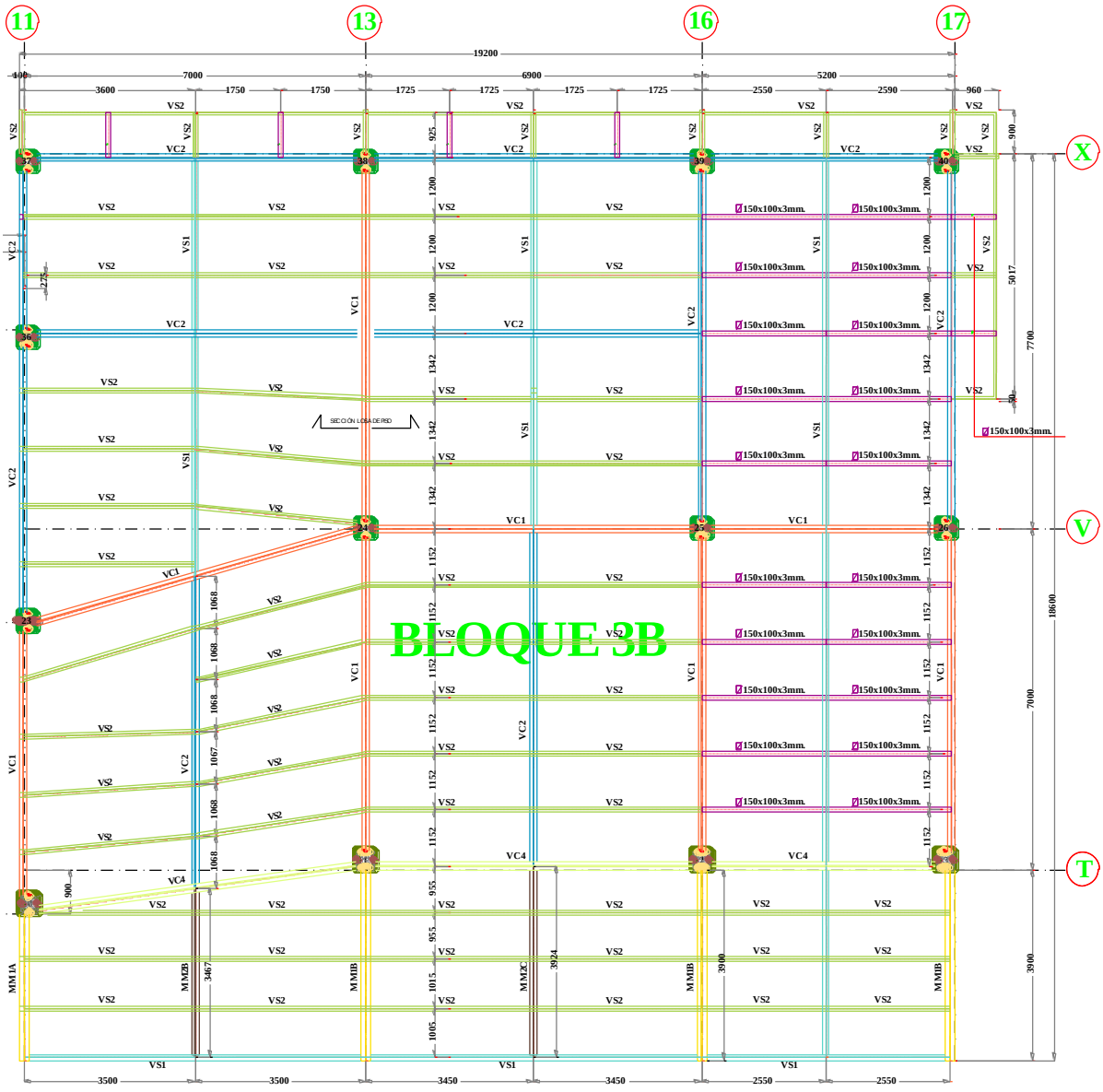


Figura 7: Losa N+5.25 desde eje 11 a eje 17

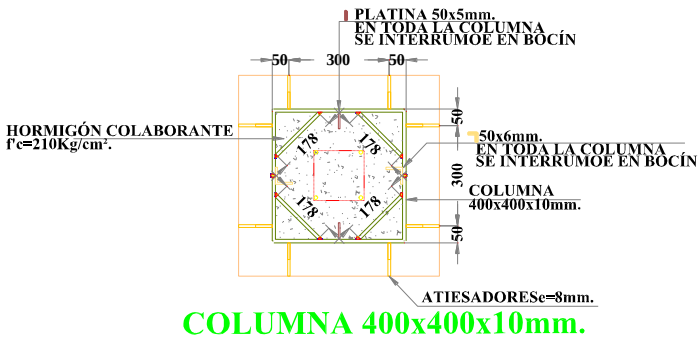


Figura 8: Detalle columnas

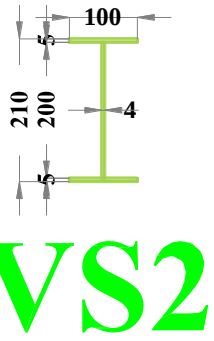


Figura 9: Detalle viga secundaria

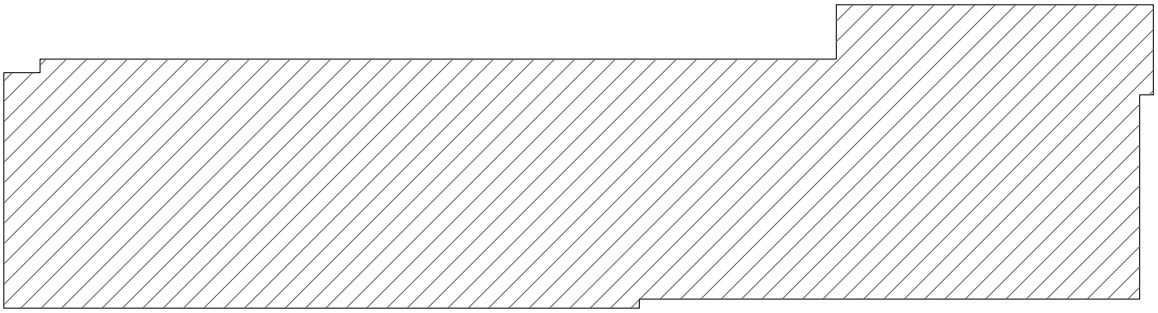


Figura 10: Superficie de losa

5.1.Descripción del edificio del caso de estudio

La estructura consta de un marco especial resistente a momentos con columnas tubulares cuadradas huecas y vigas de sección W ensambladas con placas soldadas, con una superficie construida de 1295 m2. La sección transversal de la viga secundaria tiene una profundidad de 210 mm, con alas simétricas de 100 mm de ancho y 5 mm de espesor, y alma de 4 mm de espesor. Estas vigas están provistas de conectores de cortante en forma de C para permitir que las vigas trabajen como una sección compuesta con la losa. Los conectores de cortante se espaciaron a 330 mm a lo largo de la viga, con una sección de resistencia de 60 × 3 mm. Las vigas secundarias tienen una luz libre de 3500 mm, y están colocadas a 1200 mm de distancia entre sí. La plataforma de acero tiene un espesor de 0,65 mm con un perfil trapezoidal de 52 mm de altura, rematada con una losa de hormigón de 68 mm (ver Figura 11).

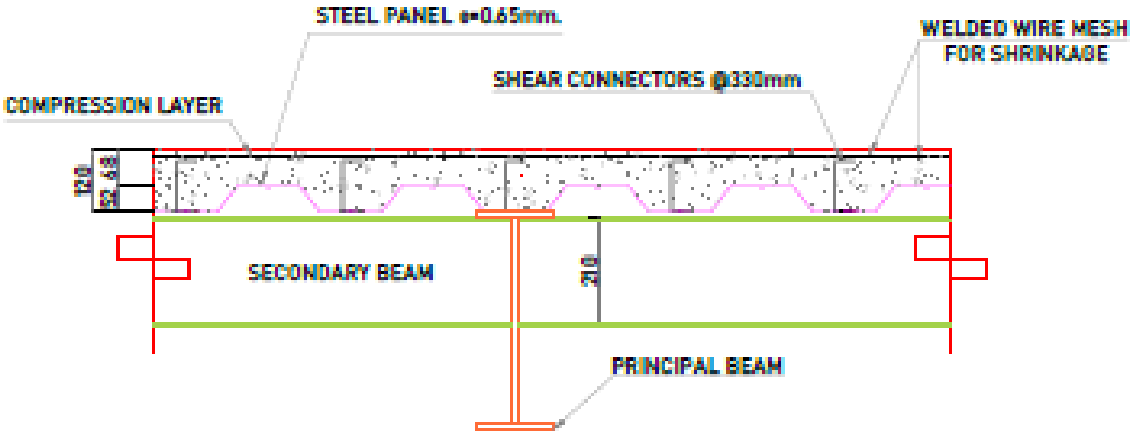


Figura 11: Sección transversal de plataforma de acero y losa de concreto

La carga muerta es igual a 5,57 kPa, estimada a partir del peso propio de la losa y viga secundaria (2,57 kPa) y una carga muerta adicional (3,00 kPa). La carga viva nominal se toma de NEC-15 o ASCE/SEI 7-22., y es igual a 1,92 kPa. Utilizando las ecuaciones (3) y (4), la carga última resulta igual a 9,8 kPa. El momento último es de aproximadamente 18,0 kN m y la sección compuesta tiene una resistencia a la flexión de diseño de 80,9 kN m. Teniendo en cuenta que la inercia equivalente de la sección compuesta resulta igual a 6,605 × 107 mm4 y, con esta inercia, se cumple fácilmente un requisito de deformación de L/800. Este límite también debe utilizarse para la alternativa de estructura de madera plástica.

$$U_1 = 1.4\,Q_D \qquad (3)$$

$$U_2 = 1.2\,Q_D + 1.6\,Q_L \qquad (4)$$

Los pesos de la estructura se pueden resumir en lo siguiente:

Descripción	Peso (kg)
Cimentación y columnas	62.071,08 kg
Vigas metálicas nivel +5,25m	49.676,02 kg
Vigas metálicas nivel +9,45m	49.676,02 kg
Vigas metálicas cubierta	34.390,12 kg
Placa de corte y conexiones	3.487,05 kg
Peso total =	**193.300,29 kg**

Tabla 4: Pesos de la estructura
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el contexto ecuatoriano, en la Tabla 5 se resumen los principales costos unitarios relacionados con la construcción del sistema clásico (vigas secundarias de la estructura de acero, tablero de acero, conectores de cortante y hormigón armado de la losa). Nótese que el costo unitario aquí referido incorpora el costo de mano de obra, equipo, materiales y transporte. De los costos unitarios se puede concluir que cada metro cuadrado de la estructura del sistema de deck convencional cuesta alrededor de $190,24/m2 y el tiempo estimado de construcción para un piso de 1295 m2 es del orden de 36 días. Nótese que este análisis no considera elementos no estructurales como porcelanato y no se consideraron costos de arriostramientos laterales.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Estructura de acero, fabricación y montaje	kg	49.676,02	3,60	178.833,67
*Peso de las vigas N +5,25M				
(Incluye vigas principales/secundarias/borde/nervios [VS2])				
Cubierta de acero	m2	1.295,00	13,60	17.612,00
Conectores de corte	m2	1.295,00	11,00	14.245,00
Malla electrosoldada	m2	1.295,00	6,25	8.093,75
Hormigón f'c=210 kg/cm2	m3	115,95	237,80	27.572,91
			Total =	246.357,33
			Costo por m2 =	190,24

Tabla 5: Costos de estructura de plataforma de acero y losa de concreto
Fuente: Elaboración propia

5.2.Diseño de piso de madera plástica

Esta sección proporciona una breve descripción del rediseño del sistema de piso de la estructura mencionada en la sección anterior. Las vigas secundarias se han rediseñado utilizando una sección tubular, de modo que no controla el estado límite de pandeo lateral por torsión y no se requirieron incorporar arriostramientos laterales por el rediseño de las vigas secundarias (sección tubular). Además, la viga secundaria es capaz de soportar la misma carga que la viga de sección mixta de la alternativa original. La sección tubular tiene 250 mm de profundidad, 75 mm de ancho y 3 mm

de espesor (equivalente a un HSS-10x3x1/8 pulgadas). La inercia de la viga secundaria es de 1,42 × 107 mm4. Considerando una reducción del 32% de la carga debido al peso de la losa, la viga es capaz de cumplir con el requisito de rigidez de L/800.

La sección del piso de madera plástica se definió como una sección tubular de cuatro celdas con una base de 200 mm, una altura de 45 mm y un espesor de 8 mm, con un total de cinco almas. Se desarrolló una hoja de cálculo en Excel para revisar un tablón de sección tubular de cuatro celdas, que se ha incluido como material adicional. Esta herramienta supone trabajar como una viga continua de tres vanos iguales. En la Figura 6 se proporciona la evaluación de los estados límite de resistencia y servicio de la sección seleccionada, utilizando la hoja de cálculo antes mencionada.

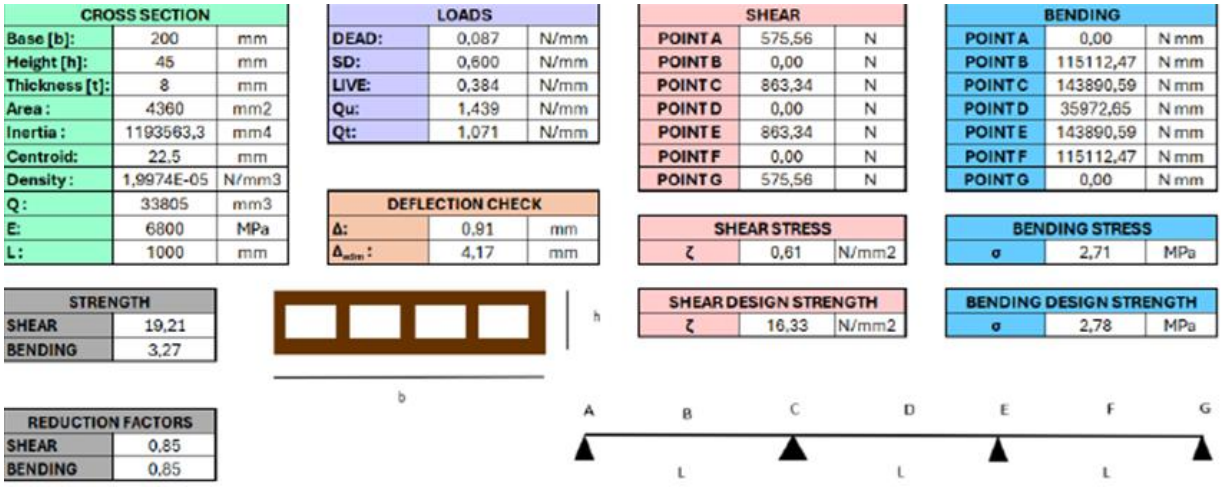


Figura 12: Hoja de cálculo para controles de estados límite de tablones de madera plástica

Como se puede observar, la sección transversal es adecuada para soportar las cargas de diseño y claramente el estado límite de resistencia a la flexión es la característica dominante del diseño. En la Figura 13 se muestra una sección transversal del sistema propuesto

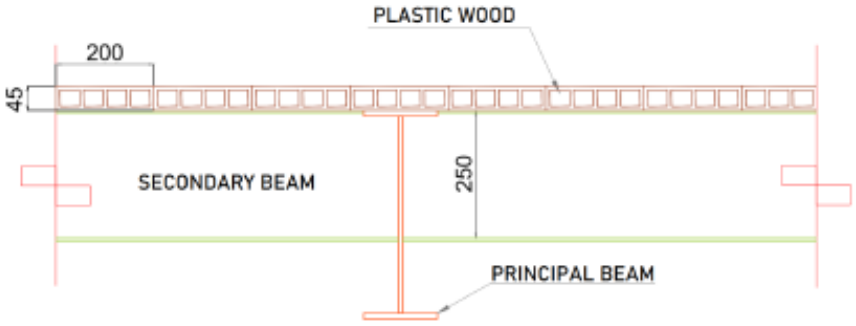


Figura 13: Sección transversal de estructura de acero y piso de madera plástica

En la Tabla 6 se resumen los principales costos unitarios de las nuevas vigas secundarias de la estructura de acero, los tablones de madera plástica y los pernos de sujeción. De los costos unitarios se puede concluir que el costo por metro cuadrado del sistema de piso propuesto es de alrededor de $211.32/m2 y el tiempo de construcción para un piso de 1295 m2 es del orden de 26 días.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Estructura de acero, fabricación y montaje	kg	50.837,46	3,60	183.014,86
*Peso de las vigas N +5,25M				
(Incluye vigas principales/secundarias/borde/sección tubular)				
Cubierta de acero	m2	1.295,00	0,00	0,00
Conectores de corte	m2	1.295,00	0,00	0,00
Malla electrosoldada	m2	1.295,00	0,00	0,00
Hormigón f'c=210 kg/cm2	m3	115,95	0,00	0,00
Madera plástica (incluye pernos)	m2	1.295,00	70,00	90.650,00
			Total =	273.664,86
			Costo unitario =	211,32

Tabla 6: Costos de estructura de piso de madera plástica
Fuente: Elaboración propia

Los tiempos mencionados tanto para la construcción tradicional (36 días), tradicional incluyendo la instalación de porcelanato (52 días); así como, para la alternativa con la sección tubular incorporando la madera plástica en lugar de los rubros que conforman el panel de la losa (cubierta de acero, conectores de corte, malla

electrosoldada y hormigón) (26 días), pueden resumirse en la tabla mostrada a continuación:

Descripción	Unidad	Cantidad
Sistema tradicional		
Área de losa N + 5,25M	m2	1.295,00
Estructura metálica a trabajar	kg	49.676,02
Tiempo de suministro y fabricación en taller	días	10
Tiempo de transporte y montaje	días	13
Tiempo de armado de tablero de losa	días	6
Tiempo de fraguado del hormigón	días	7
Total, de días		**36**
Sistema tradicional con porcelanato		
Área de losa N + 5,25M	m2	1.295,00
Estructura metálica a trabajar	kg	49.676,02
Tiempo de suministro y fabricación en taller	días	10
Tiempo de transporte y montaje	días	13
Tiempo de armado de tablero de losa	días	6
Tiempo de fraguado del hormigón	días	7
Tiempo de instalación de porcelanato	días	16
Total, de días		**52**
Sistema con madera plástica		
Área de losa N + 5,25M	m2	1.295,00
Estructura metálica a trabajar	kg	50.837,46
Tiempo de suministro y fabricación en taller	días	10
Tiempo de transporte y montaje	días	13
Tiempo de fabricación, transporte y colocación de la madera plástica	días	3
Total, de días		**26**
Razón de tiempo de fabricación entre sistemas		**28%**
Razón de tiempo de fabricación entre sistemas incluyendo porcelanato		**100%**

Tabla 7: Tiempos de construcción
Fuente: Elaboración propia

La cantidad de días mostrados anteriormente fue un ejercicio para justificar los tiempos citados en el presente trabajo, los cuales estarán siempre afectados directamente por la cantidad de personal, la disponibilidad del material, la distancia del taller a la obra y la calidad de los trabajos a ejecutar, siendo estas las variables principales a controlar durante su ejecución.

6. Discusión

El sistema propuesto resulta una alternativa interesante, ya que su aplicación se traduce en una reducción de 28% en tiempo de construcción del sistema de piso, en comparación con la alternativa clásica de una losa de concreto. Sin embargo, comparando sólo en términos de costo de estructura, sigue siendo un 11% más caro que el enfoque clásico. Para este análisis, el costo unitario del recubrimiento (es decir, 60x60 “porcelanato”) se estimó en alrededor de $28,06/m2, lo que da $218,30/m2., como costo de la estructura original y 52 días de tiempo de construcción. No obstante, si consideramos que el piso de madera plástica no necesita algún tipo de recubrimiento para una apariencia agradable y que los pisos de concreto suelen tener recubrimientos de porcelanato principalmente, para este tipo de estructuras, la diferencia en costo es prácticamente nula y la diferencia en tiempo de construcción se eleva a aproximadamente el 100% (principalmente por el fraguado de la losa de concreto), haciendo más atractiva la opción de madera plástica.

Por otro lado, esta propuesta promueve el uso de materiales reciclados, contribuyendo a reducir las emisiones de CO2 disminuyendo el uso de hormigón armado, conocido por ser uno de los principales emisores de CO2 en la industria de la construcción, además de la reducción de la contaminación acústica y de polvo, dado el menor tiempo de construcción. El sistema ha funcionado como se esperaba; sin embargo, si es utilizado en edificios con varios propietarios, podría suponer un inconveniente de confort porque, al igual que los pisos de madera, el sonido al caminar se transfiere fácilmente. Soluciones complementarias como el uso de techos con aislamiento acústico podría resolver este problema, pero esto está más allá del alcance del presente trabajo.

7. Conclusiones

- El esfuerzo máximo a flexión de la madera plástica promedio resultó igual a 39,40 MPa con una desviación estándar de 1,20 MPa. Debido a una posible acción arqueada en las pruebas, estos resultados no se tuvieron en cuenta.
- La resistencia a la tracción mediante el ensayo de tensión indirecta dio resultados inferiores a los observados en los ensayos de flexión. La resistencia promedio resultó igual a 3,27 MPa con una desviación estándar de 0,61 MPa.
- El tiempo de construcción del piso de madera plástica es un 28% menor que el del caso tradicional. Sin embargo, si se considera el uso típico de porcelanato sobre pisos de concreto, la diferencia es del orden del 100%.
- El costo de construcción del piso de madera plástica es un 11% mayor que en el caso tradicional, considerando sólo elementos estructurales. Sin embargo, si se tiene en cuenta el uso típico de porcelanato en pisos de hormigón, la diferencia de coste es insignificante.
- En la información adicional de este artículo se incluye una hoja de cálculo para el diseño estructural de tablones de madera plástica.
- Este trabajo será complementado con la presentación de artículos donde serán incorporados dos ensayos más: el ensayo de flexión para estimación de rigidez y ensayo de corte. Dicho manuscrito se titula “**Resistance factors for LRFD design of plastic wood planks”** y, al término de la escritura de esta tesis, se encontraba en proceso de revisión en la revista Journal of Structural Engineering.
- A futuro, se puede desarrollar un estudio del efecto de la temperatura en la resistencia y rigidez del material y el comportamiento de los tablones como diafragmas de piso, para su aplicación en zonas sísmicas.

8. Bibliografía

Albiño, F., Mora, D., Mosguidt, D., Sobenis, G., Velasco, C., and Arellano, L. (2015). Elaboración de planchas celu-plásticas a través del reciclaje de celulosa residual y tereftalato de polietileno (PET). Revista Cumbres, 1.

Arandes, J., Bilbao, J., & López, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. Revista Iberoamericana de Polímeros, 5(1).

ASTM-D6109. (2024). Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastic lumber and related products. Technical report, ASTM.

Awoyera, P. and Adesina, A. (2020). Plastic wastes to construction products: Status, limitations, and future perspective. Case Studies in Construction Materials, 12:e00330.

Breslin, V. T., Senturk, U., and Berndt, C. C. (1998). Long-term engineering properties of recycled plastic lumber used in pier construction. Resources, Conservation and Recycling, 23(4):243–258.

Carroll, D. R., Stone, R. B., Sirignano, A. M., Saindon, R. M., Gose, S. C., and Friedman, M. A. (2001). Structural properties of recycled plastic/sawdust lumber decking planks. Resources, Conservation and Recycling, 31(3):241–251.

Castro Alfaro, A., & Marrugo-Salas, L. (2018). Turismo sostenible. Saber, Ciencia y Libertad. https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2018v13n2.4631.

Contreras Pérez, A. F., Ochoa Morgan, O. I., Ortega Rojas, L. A., & Gutiérrez de Piñeres Rocha, J. (2020). Elaboración de madera plástica, como material para la construcción de obras civiles. Documentos de Trabajo Areandina, 2. https://doi.org/10.33132/26.

Córdoba, C., Mera, J., Rodríguez, J., and Martinez Hernandez, D. (2010). Empleo de residuos plásticos reciclados para la fabricación de productos sostenibles ambientalmente. Revista Investigium IRE Ciencias Sociales y Humanas, 1(1):60–69.

DiCYT. (2019). ¿Cómo fabricar madera plástica con desechos naturales? Iresiduo.

Ecuador, M. P. (s.f.). Obtenido de https://maderaplasticaecuador.com/

Escola, J. M., Aguado, J., Serrano, D., & Miguel, San, G. (2003). Reciclado de residuos plásticos: situación actual y perspectivas. Revista de Plásticos Modernos: Ciencia y Tecnología de Polímeros, 570.

García, Á., Amado, M., Campbell, H., Brito, R., and Toscano, L. (2013). Madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica. Revista Tecnología en Marcha, 26(3):pág. 26–37.

García-Velázquez, Á., Amado-Moreno, M. G., Casados-Pérez, M. A., & Brito-Páez, R. A. (2013). Madera plástica con PET de post consumo y paja de trigo. Ciencia y Tecnología, 1(13). https://doi.org/10.18682/cyt.v1i13.3.

López, R. (2019). Aprovechamiento de residuos termoplásticos y lignocelulosicos, para la producción láminas onduladas de madera plástica como una alternativa sostenible, para el techado de viviendas en el municipio de quibdó.

Martínez, Y., 308 García, M., Fernández, R., Álvarez, D., and Martínez, E. (2017). Proceso de transformación de la materia prima para tableros de madera plástica. Ingeniería Industrial, 38:235 – 246.

Ministerio del Ambiente, A. y. (2012). Ministerio del Ambiente, Agua y Transicion Ecológica. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf

Picón Pérez, M. (2022). Propuesta de diseño de un bloque de madera plástica para la construcción de una vivienda con material reciclado, para familias recicladoras de la ciudad de Medellín. Universidad de Pamplona – Facultad de Ingenieras y Arquitectura.

Rincón, L., Rodríguez, E., & Espitia, A. (2016). Madera plástica. Un producto amigo del planeta. Semilleros, 3(5).

Sangucho-Barros, D. S., Velasco-Cevallos, D. A., and Viera-Arroba, L. P.. (2023). Propiedades físicas y mecánicas de reciclados de plásticos producidos en ecuador como material de construcción. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 16(2):58–69.

Santiago, L., Londoño, P., & Milena González Villa, S. (2009). CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA BANANERA EMPLEADOS PARA LA ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA.

Tobón, V., & Villegas, L. (2017). Propuesta de mejoramiento del proceso de producción de madera plástica de la empresa Colombia Ecológica Madera Plástica. In reponame:Vitela: Repositorio Institucional PUJ.

Vargas, C., Urrego, W., and Mena, J. (2022). Desempeño Mecánico de Compuestos de Madera Plástica de Matriz Poliolefínica. Revista Lasallista de Investigación, 19:265 – 284.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Moreano Díaz, Juan Carlos** con C.C: 0924827132 autor del trabajo de titulación: **Comportamiento de la madera plástica y aplicación del sistema en la construcción de viviendas,** previo a la obtención del grado de **MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de graduación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 15 de abril de 2025

f. _____

Nombre: Moreano Díaz, Juan Carlos

C.C: 0924827132

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Comportamiento de la madera plástica y aplicación del sistema en la construcción de viviendas.		
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Moreano Díaz, Juan Carlos		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	Ing. Barros Cabezas, José Andres, MSc, PhD.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
UNIDAD/FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:	Maestría en Ingeniería de la Construcción		
GRADO OBTENIDO:	Magíster en Ingeniería de la Construcción		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	15 de abril de 2025	**No. DE PÁGINAS:**	35
ÁREAS TEMÁTICAS:	Resistencia de materiales, comparativa de costos, madera sintética		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Madera plástica, características mecánicas, reciclaje, capacidad de compresión y flexión.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): (no llenar)			
ADJUNTO PDF:	☒ SI	☐ NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	**Teléfono:** +593-997418245	E-mail: jc_moreano@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	**Nombre:** Rommel Yela Acosta		
	Teléfono: +593 995934871		
	E-mail: rommel.yela@cu.ucsg.edu.ec		

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA	
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	