



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

Factores de resistencia para el cálculo LRFD de la madera plástica

AUTORES:

Townsend Falcones, Carla Isabella

Vera Valdez, Jorge Luis

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO CIVIL

Tutor:

Ing. Barros Cabezas, José Andrés, M.S c., Ph. D.

Guayaquil, Ecuador

4 de septiembre del 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Townsend Falcones, Carla Isabella y Vera Valdez, Jorge Luis**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f.  _____

Ing. Barros Cabezas, José Andrés, M.S c., Ph. D.

DECANO DE LA FACULTAD

f.  _____

Ing. Federico von Buchwald de Janon, Ph. D.

Guayaquil, a los 4 días del mes de septiembre del 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Townsend Falcones Carla Isabella y Vera Valdez Jorge Luis**

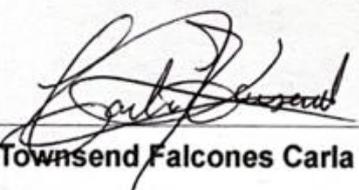
DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **Factores de resistencia para el cálculo LRFD de la madera plástica**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, 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 del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 4 días del mes de septiembre del 2025

LOS AUTORES

 Townsend Falcones Carla Isabella	 Vera Valdez Jorge Luis
---	--



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Townsend Falcones Carla Isabella y Vera Valdez Jorge Luis**

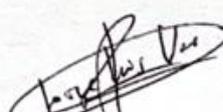
Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Factores de resistencia para el cálculo LRFD de la madera plástica**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 4 días del mes de septiembre del 2025

LOS AUTORES



Townsend Falcones Carla Isabella



Vera Valdez Jorge Luis



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

REPORTE COMPILATIO



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TRABAJO DE TITULO CARLA Y VERA

4%
Textos sospechosos



< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos
4% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TRABAJO DE TITULO CARLA Y VERA.docx
ID del documento: b932e7e091566ead81c0e207d1377faa86341b43
Tamaño del documento original: 2,02 MB

Depositante: Clara Catalina Glas Cevallos
Fecha de depósito: 29/7/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 29/7/2025

Número de palabras: 6295
Número de caracteres: 40.814

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Nathaly Freire Juan Vega,P73.docx Nathaly Freire Juan Vega,P73 #f56993 Viene de de mi grupo 14 fuentes similares	5%		Palabras idénticas: 5% (324 palabras)
2	TESIS JC MOREANO rev JBC.docx TESIS JC MOREANO rev JBC #9280cb Viene de de mi grupo 10 fuentes similares	5%		Palabras idénticas: 5% (293 palabras)
3	localhost Prevalencia de hiperlaxitud y su asociación con trastornos de ansieda... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/8063/3/T-UCSG-PRE-MED-565.pdf.txt 9 fuentes similares	5%		Palabras idénticas: 5% (298 palabras)
4	localhost Evaluación del comportamiento de vigas de hormigón pres forzado de... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/7655/3/T-UCSG-PRE-ING-IC-181.pdf.txt 6 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (204 palabras)
5	Documento de otro usuario #664132 Viene de de otro grupo 4 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (119 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	scielo.senescyt.gob.ec http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/figempa/v16n2/2602-8484-figempa-16-02-00058.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
2	dspace.unach.edu.ec http://dspace.unach.edu.ec/jspui/bitstream/51000/11087/1/FORMULARIO REGISTRO ENTREG...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
3	Caracterización de un compuesto de madera plástica obtenido mediante extrusi... /var/dspace/bitstream/15000/19937/3/3_TRABAJO_DE_TITULACION_Correa_Pillajo-Tuarez_Na...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
4	Documento de otro usuario #135cdd Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	repositorio.ucsg.edu.ec Estudio de factibilidad de la producción de Juguetes Di... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2680/1/T-UCSG-PRE-ESP-CFI-101.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)

Fuente mencionada (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1 <https://www.directindustry.com/prod/zwickroell-gmbh-co-kg/product-15660-1655243.html>

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza, la perseverancia y la claridad necesaria para culminar esta etapa.

A mis padres, Patrick Townsend y Carlota Falcones, por estar siempre presentes. Gracias por la confianza en todo momento, por sus palabras de ánimo cuando más las necesitaba y por ser mi mayor apoyo e inspiración. Han sido, y siempre serán, un pilar fundamental en mi vida, y no hay duda de que, sin ustedes, llegar hasta aquí no habría sido posible. A mi hermano Patrick Emilio, que, aunque esté lejos, siempre está pendiente de mí. Su apoyo a la distancia ha sido continuo y muy valioso.

A Jorge Luis, por ser mi compañero y apoyo incondicional durante esta travesía llamada universidad. Gracias por tenerme paciencia en los momentos difíciles, por tu constancia, y dedicación. Compartir este proceso juntos no solo hizo todo más llevadero, sino que me enseñó el valor del trabajo en equipo, la confianza y el respeto mutuo.

A mi tutor el Ing. José Barros, PhD, por su valiosa guía y acompañamiento a lo largo de este proceso. Su experiencia y disposición para compartir sus conocimientos fueron sustanciales para el desarrollo de esta tesis. Agradezco su tiempo, su paciencia y su apoyo constante, que contribuyeron de manera significativa a la calidad de este trabajo.

A mis amigos, con quienes he compartido tanto alegrías como preocupaciones, gracias porque de muchas maneras hicieron más ameno el camino y creamos recuerdos juntos.

Y, por último, pero no menos importante, agradezco a todas las personas que creyeron en mí.

Carla Isabella Townsend Falcones

DEDICATORIA

A mis padres, por ser los cimientos fuertes de mi vida. Sin su apoyo, amor y enseñanzas, nada de esto habría sido posible.

- *Carla Isabella Townsend Falcones*

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer profundamente a mis padres, Jorge Vera y Sara Valdez, por su amor incondicional, por la forma en que me educaron, por ser el mejor ejemplo de esfuerzo y perseverancia, por su apoyo en cada etapa de mi vida, por ser mi principal motivación para ser una mejor persona, y sobre todo por creer en mí. Muchas gracias por estar presentes, incluso en los momentos difíciles.

A mis hermanos, Sara, Xavier, Juan Martín y María Emilia, y a mis abuelos, gracias por su cariño y por estar en cada momento de este camino. Su compañía y afecto han sido un soporte fundamental para este logro.

A mi compañera, Carla Isabella, gracias por siempre apoyarme, por tu paciencia, comprensión y motivarme a seguir adelante en todo momento. Tu compañía y amor han sido importantes en este proceso.

Agradezco sinceramente a mi tutor de tesis, Ing. José Barros, por su orientación académica, su tiempo y su compromiso. Su guía, sus sugerencias y sus observaciones fueron claves para el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos, gracias por las conversaciones, por compartir conmigo y los ánimos no solo en los buenos momentos, sino también en los desafíos de esta etapa.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a todos los profesores, quienes contribuyeron a mi formación de manera significativa.

Jorge Luis Vera Valdez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y constante apoyo durante este camino.

- *Jorge Luis Vera Valdez*



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. José Andrés Barros Cabezas, M.S c., Ph. D.

TUTOR

f. 

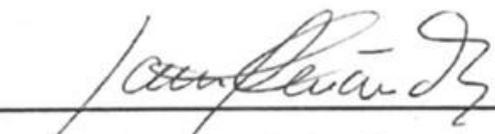
Ing. Federico von Buchwald de Janon, Ph. D.

DECANO DE LA FACULTAD

f. 

Ing. Guillermo Ponce Vásquez, M.S c.

DELEGADO DE COORDINADOR DEL ÁREA

f. 

Ing. Jaime Hernández Barredo, M.S c.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	2
Antecedentes	2
Objetivos.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	3
Justificación	3
Alcance	4
CAPÍTULO 1.....	5
1. Marco Teórico	5
1.1 Madera plástica	5
1.1.1 Características	6
1.1.2 Comportamiento mecánico.....	6
1.2 Ensayos de laboratorio.....	7
1.2.1 Ensayo de flexión en tres puntos	7
1.3 Método Monte Carlo	8
1.4 Load and Resistance Factor Design (LRFD)	9
CAPÍTULO 2.....	12
2. Marco metodológico	12
2.1 Ensayos de laboratorio.....	12
2.1.1 Ensayo de flexión en tres puntos	12
2.1.2 Ensayo de corte.....	13
2.2 Determinación del factor de diseño por resistencia.....	14
2.2.1 Modelado numérico.....	14
CAPÍTULO 3.....	18
3. Resultados y discusión	18
3.1 Resultados de ensayos de laboratorio.....	18

3.2	Resultados de los factores de resistencia.....	20
CONCLUSIONES		23
	Conclusiones	23
	Recomendaciones	23
Bibliografía.....		24

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de la madera plástica.....	6
Tabla 2 Propiedades mecánicas de la madera plástica.....	6
Tabla 3 Combinaciones de carga.....	11
Tabla 4 Datos estadísticos de la sección transversal	15
Tabla 5 Datos estadísticos de las cargas aplicadas	16
Tabla 6 Resultados de ensayo de flexión en tres puntos	18
Tabla 7 Resultados de ensayo de cortante	19
Tabla 8 Fiabilidad objetivo e índices de fiabilidad.....	20
Tabla 9 Resultados obtenidos mediante la modelación numérica con el método de Monte Carlo	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Configuración del ensayo a flexión	8
Figura 2 Estimación numérica del índice de confiabilidad	10
Figura 3 Ensayo de flexión	13
Figura 4 Ensayo de cortante	13
Figura 5 Resultado del modelado de carga viva en términos de la vida útil de la estructura	15
Figura 6 Distribución de la resistencia de la madera plástica. (a) Resistencia a la flexión [MPa], y (b) Resistencia a cortante [MPa]	17
Figura 7 Probabilidad de falla estructural para cada estado límite de resistencia, considerando cada combinación de carga.	21

RESUMEN

La madera plástica se ha utilizado como material para resolver, en su mayoría, necesidades no estructurales, salvo en casos particulares como los forjados en estructuras sometidas al agresivo ambiente del mar. En la actualidad, su diseño se basa en el uso de los criterios de Diseño de Esfuerzos Permisibles (ASD), es decir, factores de seguridad, que no están en línea con la práctica actual de diseño estructural para otros materiales, donde se utilizan métodos basados en probabilidades, como el Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD). En este trabajo se estudia la incertidumbre del comportamiento de la madera plástica en cuanto a su resistencia y rigidez, para lo cual se realizaron dos tipos de ensayos: cortante y flexión del material. Con los resultados de los ensayos se realizó un estudio probabilístico mediante la metodología Monte-Carlo, para definir los factores adecuados para el diseño estructural de la madera plástica. Se concluye que los tablonces de madera plástica resultan una alternativa de construcción liviana frente a las losas tradicionales.

Palabras clave: Madera plástica, diseño LRFD, materiales alternativos.

ABSTRACT

Plastic wood has been used as a material to solve, mostly, non-structural needs, except for cases such as decks in structures subjected to the aggressive environment of the sea. Currently, its design is based on the use of the Allowable Stress Design criteria (ASD), i.e. safety factors, which are not in line with the current practice of structural design for other materials, where probabilistic based methods are used, such as the Load and Resistance Factors Design (LRFD). In this study, the uncertainty of the behavior of plastic wood in terms of its strength and stiffness is studied, for which two types of tests were performed: shear and flexural stiffness of the material. The results of the tests were used to perform probabilistic study using the Monte-Carlo methodology, to define the appropriate factors for the structural design of plastic wood. It is concluded that wood-plastic planks are a lightweight construction alternative to traditional slabs.

Keywords: Plastic wood, LRFD design, alternative materials

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El presente trabajo busca determinar los factores de resistencia de diseño de cortante y flexión de la madera plástica, para poder implementar su uso en el diseño estructural de sistemas de piso. Siendo este un material nuevo, no se conocen sus características ni su resistencia a los diferentes estados límites. En Ecuador se utiliza la NEC (Normativa Ecuatoriana de la Construcción), la cual es un documento legal que nos indica los pasos a seguir al momento de diseñar, pero la NEC se basa en normas extranjeras, tales como el ACI (American Concrete Institute), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), y ASCE (American Society of Civil Engineers), por lo que la normativa que utilizamos no ha sido debidamente analizada, ni se ha considerado implementar nuevos materiales de construcción.

Al momento de calcular la demanda última, existen diferentes factores que mayoran las cargas, acorde con la filosofía de diseño LRFD, donde se busca estimar la combinación de efectos que pudiera ser la más crítica. En este trabajo se propone el cálculo de los factores de resistencia de diseño utilizando métodos probabilísticos de modelación numérica similares a los que se utilizaron para definir los factores de diseño de otros materiales.

Objetivos

Objetivo General

Determinar los factores de resistencia de diseño de la madera plástica, mediante ensayos de laboratorio y un análisis probabilístico, para poder realizar el diseño estructural de este material en cortante y flexión.

Objetivos Específicos

- Realizar ensayo a corte de la madera plástica, para obtener resistencia última.
- Desarrollar un algoritmo que calcule los factores de resistencia de una viga de madera plástica simplemente apoyada sometida a cargas generadas aleatoriamente.

Justificación

La importancia de la realización de este estudio radica en la implementación de la madera plástica no solo como material decorativo, sino para darle un uso estructural en el sistema de pisos y poder reemplazar los materiales de construcción convencionales y pesados, como lo son el hormigón y el acero.

Este estudio se enfoca en un material poco estudiado en el ámbito nacional, que se obtiene mediante un proceso de reciclaje de desechos plásticos como el tereftalato de polietileno, en algunos casos con residuos vegetales, y su uso estructural se propone como un sustituto de la madera natural. Sin embargo, algunos autores (Awoyera & Adesina, 2020) señalan que su aplicación en la construcción está limitada debido a su alto costo y la falta de normativas, restringiendo su uso a bancas de parque, plataformas flotantes, cercas, entre otros. Este trabajo evaluará la validez de esta afirmación para el caso de Ecuador.

Alcance

El ensayo por realizar será el ensayo de corte para determinar la carga resistente última y los resultados del ensayo de flexión serán obtenidos de (Moreano Díaz, 2025). De estos ensayos se obtendrá una estadística que permita estimar la dispersión del modelo resistente adoptado.

Por otro lado, se desarrollará un algoritmo mediante el uso de Python, que permita estimar el índice de fiabilidad mediante un modelo numérico probabilista. “La fiabilidad está relacionada con la probabilidad de que una estructura no falle” (Chiachio Ruano & Chiachio Ruano, 2019, p. 24). Se utilizará el método de simulación de Monte Carlo para el cálculo de probabilidad de fallo.

CAPÍTULO 1

Este capítulo se enfocará en la descripción de la madera plástica, sus características y comportamiento mecánico. Se describirán los ensayos a realizar en el material para obtener sus resistencias a flexión y cortante. Por último, se explicará acerca de la metodología de cálculo que se utilizará para calcular los factores de resistencia.

1. Marco Teórico

1.1 Madera plástica

La madera plástica es un material innovador creado a partir de material 100% reciclado, por lo que una vez acabado su ciclo de vida puede reciclarse para volverse a utilizar. Este se produce a partir de plásticos post consumo y post industrial. Tiene tres principales beneficios los cuales son: alta resistencia al uso, larga vida útil y no necesita un constante mantenimiento como la madera convencional. (Madera plástica Ecuador, 2023)

De acuerdo con (Sancucho et al., 2023) la fabricación de madera plástica en Ecuador representa un claro ejemplo de cómo se puede implementar la Economía Circular, la cual promueve procesos como la reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje de materiales. Adicional, la flexibilidad en la fabricación de madera plástica hace posible la creación de componentes estructurales con diversas formas, adecuados para su uso en la construcción civil debido a las propiedades físicas y mecánicas que presenta el material.

En la actualidad el plástico reciclado tiene una gran diversidad de usos, que van desde revestimientos para paredes y techos hasta la fabricación de muebles y elementos decorativos. Su adaptabilidad a distintos estilos y requerimientos de diseño ofrece a los profesionales del diseño de interiores múltiples posibilidades creativas para desarrollar espacios originales y funcionales. (Paco & Chacón, 2023)

1.1.1 Características

Debido a que es plástico reciclado, tiene características favorables como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1

Características de la madera plástica

Salud	Es de fácil limpieza e inmune a plagas, hongos y bacterias, hipoalergénica y 100% eco-amigable.
Seguridad	Impermeable, aislante térmica, eléctrica y acústica, alta resistencia salina y bioquímica, no se pudre, astilla, agrieta, hincha, entre otros.
Duración	Alta resistencia al impacto de uso, vida útil mayor a 100 años, no requiere de mantenimiento constante, es ideal para zonas húmedas y el exterior.
Manipulación	Es un producto macizo, el cual es de fácil instalación.

Nota. Tomada de Madera plástica Ecuador (2023).

1.1.2 Comportamiento mecánico

De acuerdo con (Breslin & Senturk, 1998) (Stark & Rowlands, 2003) la madera plástica posee los siguientes atributos, como se muestra en Tabla 2.

Tabla 2

Propiedades mecánicas de la madera plástica

Fabricante	Componentes	Densidad [Kg/m ³]	Resistencia a la compresión [Mpa]	Propiedades de tracción		Propiedades de flexión		Resistencia a corte [Mpa]
				Resistencia [Mpa]	Módulo [Gpa]	Resistencia [Mpa]	Módulo [Gpa]	
TRIMAX	HDPE* y fibra de vidrio	750	12.00	8.60		20.00	2.24	5.00
	Mezcla de plástico reciclado	860	25.90	10.00			0.97	
Lumber Last	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		28.30	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 = Polipropileno de alta densidad, PP = Polipropileno, WF = madera en polvo, CA = Agente acoplador

Nota. Tomada de (Breslin & Senturk, 1998) (Stark & Rowlands, 2003)

1.2 Ensayos de laboratorio

Se realizaron dos tipos de ensayos para evaluar las características del material. La Figura 1 muestra la configuración del ensayo a flexión realizado, el cual consistió en lo siguiente:

1.2.1 Ensayo de flexión en tres puntos

Según la norma ASTM D6109-24 (ASTM International, 2024), las propiedades de flexión de materiales como la madera plástica deben determinarse mediante ensayos con carga en tres o cuatro puntos, dependiendo de la geometría del material. Se contemplan dos métodos: Método A, en el cual la probeta se ensaya en posición plana, siendo apropiado para secciones tipo tabla; y Método B, donde la probeta se ensaya en posición de canto, útil para elementos estructurales tipo viga.

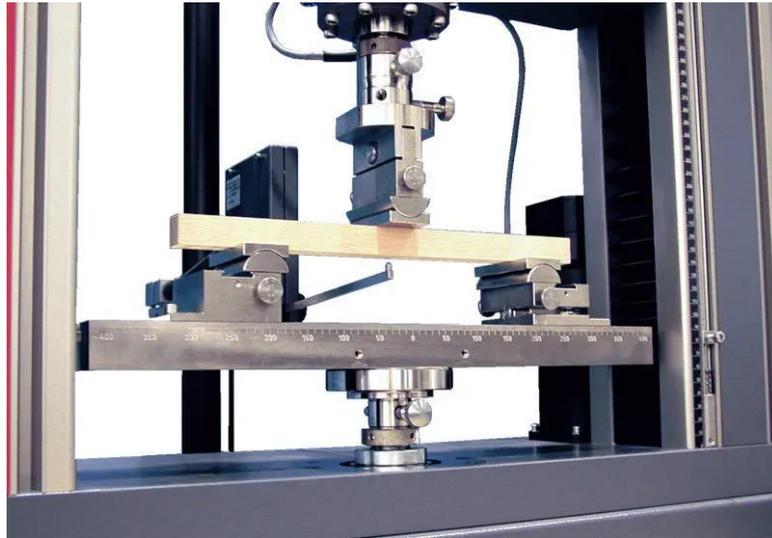
EL procedimiento consiste en someter a flexión una muestra de sección transversal rectangular, ya sea en posición plana (Método A) o de canto (Método B) de la siguiente manera: La carga se aplica en dos puntos sobre la viga simplemente apoyada, de forma que la distancia entre los dos puntos debe ser igual a un tercio de la luz total entre los apoyos. La prueba se ejecuta hasta que la probeta se fracture o se alcance un 3% de deformación en la fibra exterior, lo que ocurra primero.

La máquina utilizada debe estar debidamente calibrada, capaz de aplicar la carga a una velocidad constante y con una precisión de $\pm 1\%$ de la carga máxima esperada. Además, deberá contar con un sistema para medir deflexión. Tanto los puntos de carga y los soportes deben tener superficies cilíndricas, con un radio mínimo de 12,7 mm, para evitar falla por concentración de esfuerzos.

Las probetas deben ser del tamaño de fabricación, únicamente recortadas en longitud requerida para efectuarse el ensayo. No se deben alterar las superficies exteriores originales. Finalmente, se debe conservar la relación de luz entre soportes/profundidad de la sección de aproximadamente 16:1.

Figura 1

Configuración del ensayo a flexión



Nota. Tomada de (ZwickRoell GmbH & Co. KG, n.d.)

1.3 Método Monte Carlo

El método Monte Carlo es una técnica que utiliza procesos aleatorios, es decir, trabaja con situaciones que ocurren al azar. Supondremos que estos eventos existen y que es posible crear un programa de computadora capaz de simularlos de forma efectiva. (Kalos & Whitlock, 2008)

Según (Paltani, 2010) la simulación Monte Carlo, tiene los siguientes pasos:

1. Determinar las propiedades de las posibles entradas de datos.
2. Generar múltiples conjuntos de entradas posibles que sigan dichas propiedades.
3. Realizar un cálculo determinista de estos conjuntos.
4. Analizar estadísticamente los resultados.

1.4 Load and Resistance Factor Design (LRFD)

El Diseño por Factores de Carga y Resistencia, abreviado como LRFD, es un esquema para el diseño de componentes estructurales que es diferente del formato tradicionalmente utilizado de esfuerzos admisibles. La diferencia radica en que el método de esfuerzos admisibles tiene un único factor de seguridad, mientras que en el diseño LRFD se utiliza un factor para amplificar cargas y otro para reducir resistencias. (Galambos, 1981)

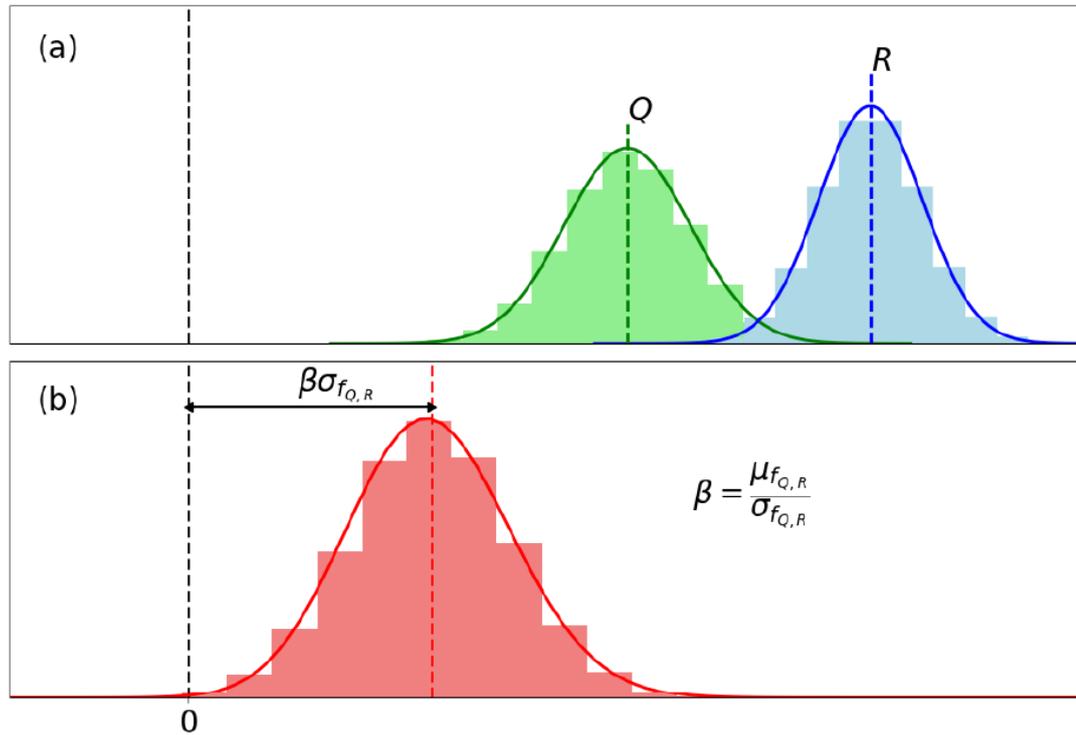
El LRFD se basa en estadísticas, conceptos de confiabilidad y un valor preseleccionado para la probabilidad de falla (Ebeling, 2023). Según (Bathurst & Allen, 2008) el concepto de confiabilidad se deriva de dos distribuciones de frecuencia (es decir, las distribuciones de carga y de resistencia), a partir de las cuales se puede obtener la distribución de la siguiente ecuación:

$$P_f[Q > R] = \iint_{q-r>0} f_{Q,R}(q, r) dqdr$$

donde $f_{Q,R}(q, r)$ es la función de probabilidad del comportamiento del sistema (Alamdaro & Moghaddam, 2020), mientras que Q y R representan, respectivamente, la carga aplicada y las distribuciones de probabilidad de la resistencia, y P_f es la probabilidad de falla estructural. La desviación estándar de $f_{Q,R}(q, r)$ está relacionada con el índice de confiabilidad (β), el cual se define como el número de desviaciones estándar donde se encuentra la media de $f_{Q,R}(q, r)$, tomada desde la posición $R = Q$ (Chiachio Ruano & Chiachio Ruano, 2019). La Figura 2 representa este concepto de confiabilidad para llegar a la metodología LRFD.

Figura 2

Estimación numérica del índice de confiabilidad



Como indica (Song & Huang, 2023) la fórmula básica para diseño LRFD, puede expresarse como:

$$\phi R_n \geq \sum_{i=1}^N \gamma_i Q_{ni}$$

Donde ϕ es el factor de reducción de resistencia, R_n la resistencia, γ_i es el factor de amplificación de carga, Q la carga nominal, y por último la N es la cantidad de cargas a utilizar.

De acuerdo con el (ACI 318-19) las cargas se van a dividir en varios tipos, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3*Combinaciones de carga*

Combinaciones de Carga	Carga Principal
$U = 1.4 D$	D
$U = 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$	L
$U = 1.2 D + 1.6 (Lr \text{ o } S \text{ o } R) + 0.5 L$	Lr o S o R
$U = 1.2 D + 1.0 W + 1.0 L + 0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$	W
$U = 1.2 D + 1.0 E + 1.0 L + 0.2 S$	E
$U = 0.9 D + 1.0 W$	W
$U = 0.9 D + 1.0 E$	E

Nota. Tomada de (American Concrete Institute, 2019)

Como se indica en (Mondal & Mairy, 2023) el valor del factor de resistencia (ϕ) varía según el tipo de material, la forma del elemento y el criterio de falla utilizado. Este factor sirve para considerar posibles variaciones en la capacidad estructural. Como aspectos como la confiabilidad del sistema, el control de calidad durante la producción y otros similares pueden cambiar, es necesario que el factor de resistencia se adapte, permitiendo modificar la resistencia que se usa en el diseño.

CAPÍTULO 2

2. Marco metodológico

Este capítulo se enfocará en la descripción y procedimiento de los ensayos realizados en la madera plástica, para determinar la carga última resistente a cortante y flexión. Durante los ensayos también se obtendrá el peso y dimensión de cada probeta, para determinar el peso específico de la madera plástica. Posteriormente los datos obtenidos en los ensayos, mediante el uso del programa Python, se va a desarrollar un código que nos permita determinar de manera probabilista y considerando las incertidumbres de tamaño, peso específico y cargas, la demanda y la resistencia de una viga simplemente apoyada, para así encontrar las distribuciones de falla de la viga de madera plástica y tantear los factores de diseño correspondientes.

2.1 Ensayos de laboratorio

2.1.1 Ensayo de flexión en tres puntos

El ensayo de flexión fue realizado en conjunto con (Moreano Díaz, 2025), en el cual se realizó el ensayo de flexión en tres puntos sobre 20 probetas con dimensiones nominales de $40 \times 40 \times 160$ mm, empleando una configuración estándar con una luz de 120 mm entre apoyos. Las pruebas se llevaron a cabo utilizando una bancada de carga marca Humbolt, equipada con un anillo calibrado del mismo fabricante, modelo H-4454.100-4312, con una capacidad de carga máxima de 50 kN. La Figura 3 muestra el montaje del ensayo. Aunque este procedimiento se basa en los lineamientos de la norma ASTM, fue necesario adaptar tanto las dimensiones de las probetas como algunos aspectos del montaje experimental, debido a limitaciones del equipamiento disponible en el laboratorio y a las capacidades de fabricación de los proveedores del material. Esta adaptación también permitió evaluar la variabilidad en las dimensiones y peso de las muestras resultantes del proceso de producción.

Figura 3

Ensayo de flexión



2.1.2 Ensayo de corte

Se realizaron pruebas sobre 8 probetas con dimensiones nominales de $40 \times 20 \times 160$ mm, utilizando una configuración de doble corte y anclando las placas de apoyo de las probetas, para evitar desplazamientos no deseados, como se muestra en la Figura 4. Para este ensayo se empleó el mismo equipo utilizado en la prueba de flexión en tres puntos. En este caso, se propuso una sección transversal de menor altura con el fin de asegurar que la falla ocurriera por corte y no por otro modo de fallo.

Figura 4

Ensayo de cortante



2.2 Determinación del factor de diseño por resistencia

En la metodología LRFD, la confiabilidad estructural se logra mediante la calibración de dos parámetros fundamentales: el factor de resistencia (ϕ) y el factor de carga (γ). Estos factores están directamente relacionados con la variabilidad de las resistencias del material y las cargas aplicadas. Su ajuste permite alcanzar un nivel de confiabilidad previamente definido.

2.2.1 Modelado numérico

El modelado numérico fue realizado mediante el método de Monte Carlo, considerando diferentes tipos de funciones de distribución de probabilidad como la normal, gamma y exponencial, dependiendo de cada parámetro involucrado en el modelo. Las Tablas 4 y 5 resumen las distribuciones utilizadas para representar la variabilidad tanto de la sección transversal como de las cargas gravitacionales.

En el caso de la carga muerta (Q_D), esta fue determinada a partir del peso específico del material y de las dimensiones de la sección transversal de la madera plástica. Su comportamiento aleatorio fue modelado considerando la variación en el peso específico, la base, la altura y el espesor de la sección, todos bajo una distribución normal, como se detalla en la Tabla 4.

El modelo de carga viva considera cuatro escenarios principales:

1. Stacking live load (Apilamiento de materiales durante el proceso constructivo)
2. Move-in live load (Cargas generadas por el ingreso de mobiliario u objetos pesados)
3. Sustained live load (Cargas permanentes asociadas al uso habitual del edificio)
4. Extraordinary live load (Sobrecargas excepcionales producidas por aglomeraciones, almacenamiento temporal o actividades de remodelación)

Cada uno de estos escenarios fueron simulados considerando una distribución exponencial, que permite modelar tanto la frecuencia como la duración de estas cargas, conforme a los valores medios propuestos en la

Tabla 5. Un ejemplo representativo de la evolución de la carga viva en el tiempo se presenta en la Figura 5.

Figura 5

Resultado del modelado de carga viva en términos de la vida útil de la estructura

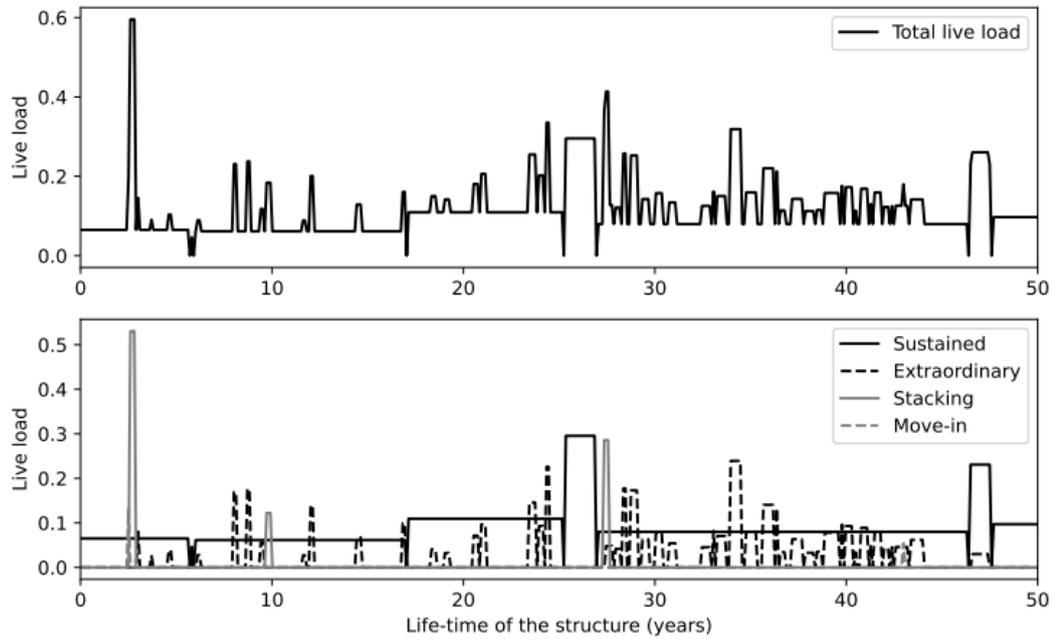


Tabla 4

Datos estadísticos de la sección transversal

Parámetros	COV	Distribución
Longitud – L [mm]	4.3 X 10 ⁻³	Normal
Base – b [mm]		
Espesor – t [mm]		
Densidad – γ [KN/m ³]	1.068 x 10 ⁻¹	Normal

Para el análisis numérico, se utilizaron combinaciones de carga tomadas de acuerdo con las normativas, las cuales son:

$$U_1 = 1.4Q_D$$

$$U_2 = 1.2Q_D + 1.6Q_L$$

Tabla 5*Datos estadísticos de las cargas aplicadas*

Tipo de carga	Media	COV	Distribución	Frecuencia promedio	Duración	Fuente
Dead	D	0.10	Normal			(Mondal & Mairy, 2023)
Stacking Live	1.0 kPa	0.60	Gamma	1 vez	1 mes	(Mondal & Mairy, 2023) (Chalk & Corotis, 1980)
Move-in Live	0.19 L _n	0.66	Gamma	1 vez	1 semana	
Sustained Live	0.30 L _n	0.60	Gamma	0.125/año	8 años	
Extraordinary Live	0.19 L _n	0.66	Gamma	1/año	1 semana	

donde Q_D y Q_L representan la carga muerta y la carga viva, respectivamente, y U_1 y U_2 son las cargas últimas. Adicional, L_n , representa la carga viva nominal, la cual tendrá un valor de 2 KPa, correspondiente al uso de vivienda de acuerdo con (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015).

Los cálculos de fuerzas internas se realizaron de acuerdo con los principios fundamentales de la estática. Las resistencias nominales se calcularon utilizando las siguientes ecuaciones:

$$M_n = \sigma_n S$$

$$V_n = \tau_n A_s$$

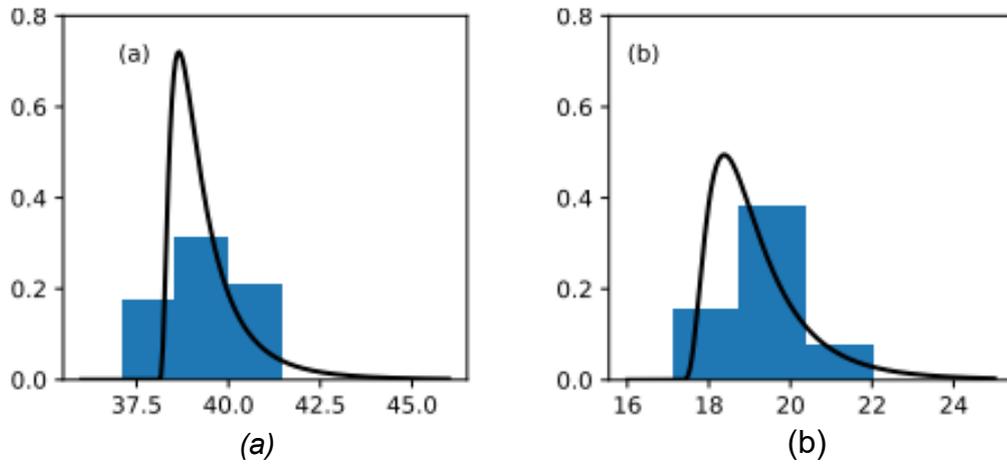
donde σ_n y τ_n son los esfuerzos nominales a flexión y a corte de material, respectivamente, A_s y S corresponden al área resistente al corte y al módulo elástico de la sección transversal. M_n y V_n representan la resistencia a flexión y al corte del elemento.

Para la simulación, la distribución de cargas Q se obtuvo de forma numérica utilizando el valor máximo de cada simulación, similar al ejemplo presentado en la Figura 5. Por su parte, las distribuciones de resistencia R se modelaron a partir del valor medio y del coeficiente de variación (COV) de los

resultados experimentales, ajustando dichos datos a distribuciones lognormales, como se muestran en la Figura 6.

Figura 6

Distribución de la resistencia de la madera plástica. (a) Resistencia a la flexión [MPa], y (b) Resistencia a cortante [MPa]



CAPÍTULO 3

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados de ensayos de laboratorio

En la Tabla 6 se presentan los resultados de 20 muestras, analizadas según su peso, tamaño y carga máxima soportada. Para calcular el esfuerzo máximo de flexión, se aplicó la teoría clásica de vigas de Bernoulli, cuya fórmula se da en la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

donde M representa el momento flector máximo interno (calculado como $PL/4$), donde P es la carga en el centro de la viga, L es la distancia entre apoyos, y S es el módulo elástico de la sección.

Tabla 6

Resultados de ensayo de flexión en tres puntos

No.	Peso [gr]	Longitud [mm]	Base [mm]	Altura [mm]	Densidad [kg/m³]	Carga [KN]	Esfuerzo [Mpa]
1	252.5	160.4	41.4	42.0	905.3	15.6	38.34
2	258.2	160.3	41.5	42.0	924.1	15.8	38.8
3	256.5	160.4	41.6	41.4	928.5	15.3	38.71
4	253.3	160.2	41.6	41.5	915.9	15.3	38.53
5	255.2	160.5	41.7	41.4	921.0	16.0	40.3
6	258.0	160.1	41.1	41.6	942.5	16.2	41.06
7	251.0	160.4	41.1	41.6	915.2	14.7	37.12
8	252.4	160.3	41.6	41.1	920.9	15.6	39.85
9	249.4	160.6	41.4	42.0	893.1	16.0	39.44
10	257.0	160.5	41.3	42.0	923.1	15.3	37.89
11	259.1	160.6	41.6	42.2	919.0	16.0	38.88
12	257.7	160.6	41.7	41.4	929.6	16.4	41.42
13	254.1	160.7	41.4	41.6	918.1	15.6	39.09
14	258.6	160.7	41.6	41.7	927.8	16.2	40.37
15	258.2	160.5	41.4	41.8	929.5	15.1	37.61
16	255.9	160.5	41.5	41.7	921.4	16.0	39.91
17	254.1	160.6	41.3	41.4	925.4	16.2	41.26
18	258.6	160.5	41.8	41.4	931.2	15.6	39.09
19	257.7	160.4	41.7	41.3	933.0	15.8	39.93
20	259.1	160.6	41.7	41.3	936.8	16.0	40.5
				Media	923.07	15.74	39.41
				Desv. Est.	10.9	0.4	1.2
				COV	0.0118	0.0281	0.0307

Nota. Tomada de (Moreano Díaz, 2025). Adicional, se realizaron correcciones al peso, por lo que los resultados encontrados en la fuente pueden discrepar de los mostrados en la tabla

En la Tabla 7 se presentan los resultados de 8 muestras con forma rectangular, evaluadas en cuanto a sus dimensiones y capacidad de carga. Para determinar el esfuerzo máximo, se consideró que el esfuerzo cortante se distribuye de manera uniforme, lo que permitió aplicar la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{V}{A_s}$$

donde, τ es el esfuerzo cortante resistente, $V = P/2$ es la fuerza cortante interna, A_s es el área de corte a través de la sección.

Tabla 7

Resultados de ensayo de cortante

No.	Base [mm]	Altura Altrua	As [mm ²]	Carga [KN]	Esfuerzo [MPa]
1	42	20	840	21.3	25.4
2	43	19	817	20.9	25.57
3	42	18	756	22.2	29.35
4	42	20	840	21.6	25.7
5	42	19	798	18.2	22.81
6	42	20	840	20.0	23.81
7	42	18	756	19.6	25.93
8	42	19	798	21.0	26.32
Media				20.6	25.6
Desv. Est.				1.28	1.92
COV				0.062	0.075

En base a los resultados de los ensayos, la madera plástica presenta una resistencia mecánica variable, lo que permite seleccionar su capacidad estructural según los requisitos específicos del proyecto. Para establecer criterios de aceptación fiables, se aplicó el Criterio n.º 2 de ACI 214R (American Concrete Institute, 2011), utilizando el método de desviación estándar basado en promedios de ensayos de resistencia consecutivos. Este enfoque permite definir una resistencia media requerida tal que la probabilidad de que el promedio de 3 ensayos consecutivos sea inferior a la resistencia requerida no supere el 1 %. Esto garantiza un riguroso control de calidad en la caracterización y la aplicación estructural del material.

3.2 Resultados de los factores de resistencia

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos y aplicando el método descrito anteriormente, se seleccionaron secciones estructurales adecuadas para cada estado limite (flexión y corte) y combinación de cargas. Se buscó una sección apropiada mediante prueba y error, con el objetivo de alcanzar un índice de confiabilidad de $\beta = 3.50$ que, de acuerdo con la Tabla 8, es el valor recomendado para una edificación de categoría de riesgo II y para una falla que es repentina o conduce a una progresión generalizada del daño.

Tabla 8

Fiabilidad objetivo e índices de fiabilidad

Table 1.3-1 Target Reliability (Annual Probability of Failure, P_F) and Associated Reliability Indices (β)¹ for Load Conditions That Do Not Include Earthquake, Tsunami, or Extraordinary Events²

Basis	Risk Category			
	I	II	III	IV
Failure that is not sudden and does not lead to widespread progression of damage	$P_F = 1.25 \times 10^{-4}/\text{yr}$ $\beta = 2.5$	$P_F = 3.0 \times 10^{-5}/\text{yr}$ $\beta = 3.0$	$P_F = 1.25 \times 10^{-5}/\text{yr}$ $\beta = 3.25$	$P_F = 5.0 \times 10^{-6}/\text{yr}$ $\beta = 3.5$
Failure that is either sudden or leads to widespread progression of damage	$P_F = 3.0 \times 10^{-5}/\text{yr}$ $\beta = 3.0$	$P_F = 5.0 \times 10^{-6}/\text{yr}$ $\beta = 3.5$	$P_F = 2.0 \times 10^{-6}/\text{yr}$ $\beta = 3.75$	$P_F = 7.0 \times 10^{-7}/\text{yr}$ $\beta = 4.0$
Failure that is sudden and results in widespread progression of damage	$P_F = 5.0 \times 10^{-6}/\text{yr}$ $\beta = 3.5$	$P_F = 7.0 \times 10^{-7}/\text{yr}$ $\beta = 4.0$	$P_F = 2.5 \times 10^{-7}/\text{yr}$ $\beta = 4.25$	$P_F = 1.0 \times 10^{-7}/\text{yr}$ $\beta = 4.5$

¹The target reliability indices are provided for a 50-year reference period, and the probabilities of failure have been annualized. The equations presented in Section 2.3.6 are based on reliability indices for 50 years because the load combination requirements in Section 2.3.2 are based on the maximum loads for the 50-year reference period.

²Commentary to Section 2.5 includes references to publications that describe the historic development of these target reliabilities.

Nota. Tomada de la Tabla 1.3-1 de la norma ASCE/SEI 7 (American Society of Civil Engineers, 2021)

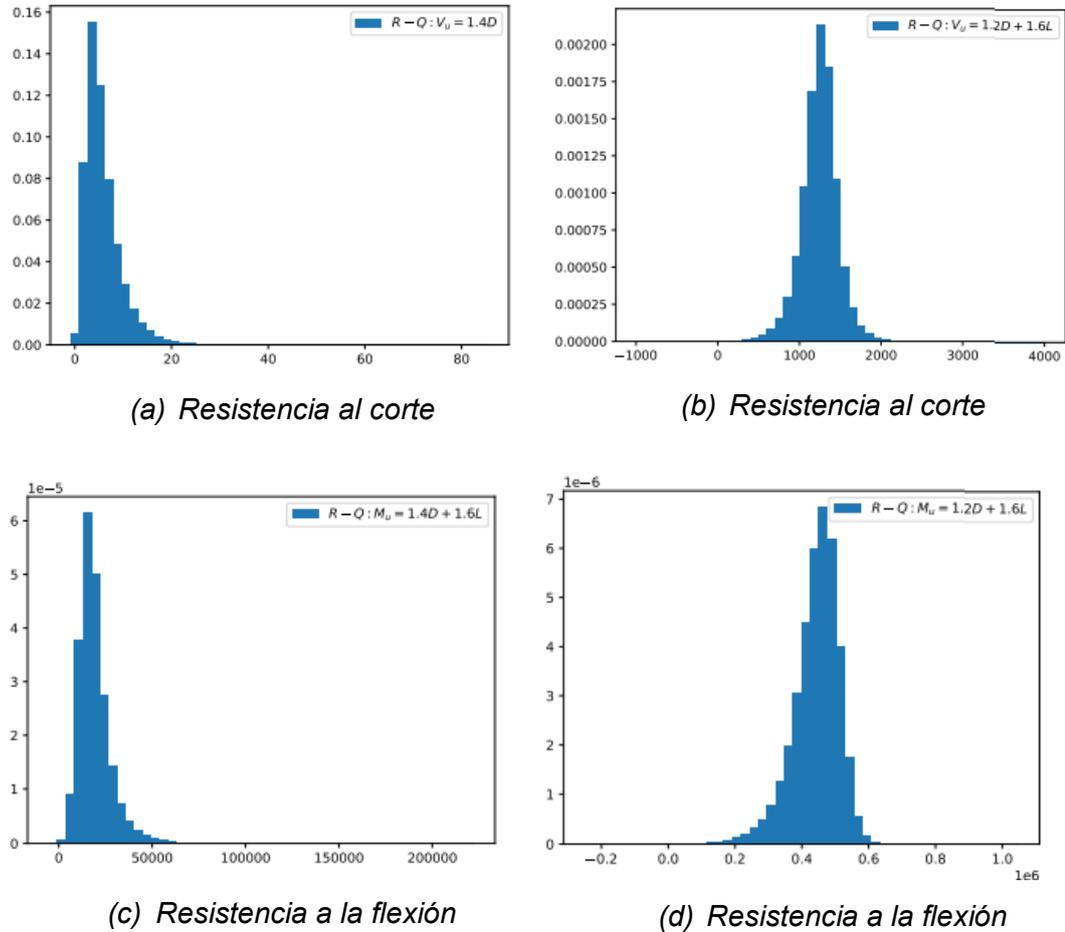
La Figura 7 presenta la distribución de la probabilidad de falla estructural para los estados límites de resistencia. Para calcular el factor de reducción de resistencia para cada caso, se utilizó la siguiente inecuación:

$$\phi R_n \geq Q_u$$

donde ϕ es el factor de reducción de resistencia, R_n es la resistencia nominal del estado limite y Q_u es la fuerza de diseño correspondiente del estado limite considerado. Al despejar ϕ , se obtiene su valor mínimo requerido.

Figura 7

Probabilidad de falla estructural para cada estado límite de resistencia, considerando cada combinación de carga.



En consecuencia, la Tabla 9 resume las dimensiones de las secciones transversales de las losas y la luz de apoyo obtenidas para alcanzar el índice de confiabilidad objetivo mencionado, junto con el valor mínimo del factor de reducción de resistencia ϕ , redondeados al valor anterior más cercano. Con base a los resultados, se concluye que para el diseño estructural en flexión se puede utilizar un valor de $\phi = 0.60$, y para corte, $\phi = 0.55$.

Tabla 9

Resultados obtenidos mediante la modelación numérica con el método de Monte Carlo

Parámetros	Flexión		Corte	
	1.4D	1.2D + 1.6L	1.4D	1.2D + 1.6L
Longitud	8720	2280	3570	3520
Base	200	200	200	200
Altura	15	30	30	30
Espesor del ala	8	5	8	8
Espesor del alma	1	5	0.02	0.7
ϕ	1.30	0.61	1.25	0.58

CONCLUSIONES

Conclusiones

En el presente trabajo se determinaron los factores de resistencia de diseño para la madera plástica, incorporando un enfoque probabilístico como herramienta de evaluación. Para el desarrollo del análisis, se implementó un código de Python que permitió simular de forma probabilista, mediante el método de Monte Carlo, el comportamiento estructural frente ciertas variaciones en los parámetros involucrados en el modelo. Como resultado del análisis, se determinaron los siguientes factores de resistencia: a flexión, $\phi = 0.60$; mientras que, para cortante, $\phi = 0.55$.

Mediante los resultados de los ensayos, se determinó una resistencia media a flexión de 39.41 MPa con una desviación estándar de 1.20 MPa; y la resistencia media a cortante equivale a 25.60 MPa con una desviación estándar de 1.92 MPa.

Recomendaciones

Para trabajos futuros, se recomienda incluir:

- Un estudio sobre el efecto de la temperatura en la madera plástica, con el fin de analizar cómo las variaciones térmicas pueden afectar en las propiedades mecánicas, y en especial, en la resistencia del material.
- Estudiar el comportamiento de los pernos que se usan para conectar a corte el sistema de piso, con el fin de comprobar su eficacia estructural y su comportamiento como diafragma rígido o flexible.
- Realizar estudios complementarios que permitan corroborar si la sección transversal de la probeta influye en los resultados obtenidos, esto podría determinar si se pueden generar diferencias en el comportamiento mecánico del material y, por ende, en la precisión de los ensayos realizados.

Bibliografía

- Alamdarlo, D., & Moghaddam, A. (2020). The calculation of the reliability index in nonlinear problems: A new method. *Ain Shams Engineering Journal*.
- American Concrete Institute. (2011). *Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete* (Vols. (ACI 214R-11)). American Concrete Institute.
- American Concrete Institute. (2019). ACI 318-19. *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*.
- American Society of Civil Engineers. (2021). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers.
- ASTM International. (2024). *ASTM D6109-24: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastic lumber and related products*. ASTM International.
- Awoyera, P., & Adesina, A. (2020). The role of plastic waste in infrastructure construction. *Case Studies in Construction Materials*.
- Bathurst, R., & Allen, T. (2008). Calibration concepts for load and resistance factor design (LRFD) of reinforced soil walls. *Canadian Geotechnical Journal*.
- Breslin, V. T., & Senturk, U. a. (1998). Long-term engineering properties of recycled plastic lumber used in pier construction. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Chalk, P. L., & Corotis, R. B. (1980). Probability model for design live loads. *Journal of the Structural Division*, 2017–2033.
- Chiachio Ruano, M., & Chiachio Ruano, J. (2019). *Introducción a la ingeniería de la Fiabilidad*. España: Editorial Técnica Avicam.
- Ebeling, R. M. (2023). Load and resistance factors from reliability analysis probability of unsatisfactory performance (pup) of flood mitigation, batter pile-founded t-walls given a target reliability index (beta). *Engineer Research and Development Center*.

- Galambos, T. (1981). Load and Resistance Factor Design. *ENGINEERING JOURNAL*.
- Kalos, M., & Whitlock, P. (2008). *Monte Carlo Methods*. Wiley-VCH.
- Madera plástica Ecuador. (2023). *Información Técnica para elaboración de pliegos*. Guayaquil.
- MIDUVI. (2014). *NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Norma ecuatoriana de la construcción: NEC-SE-CARGAS: Cargas*. Quito: MIDUVI.
- Mondal, B., & Mairy, D. (2023). Load and resistance factor design for bamboo reinforced concrete beam in ultimate flexural limit state. *Structural Safety* .
- Moreano Díaz, J. C. (2025). *Comportamiento de la madera plástica y aplicación del sistema en la construcción de viviendas*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Paco, S., & Chacón, M. (2023). El uso de plástico reciclado, su relevancia en la economía circular y su aplicación en el campo de diseño interior. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Paltani, S. (2010). Monte Carlo Methods. ISDC Data Center for Astrophysics.
- Sancucho, D., Velasco, D., & Viera, L. (2023). Propiedades físicas y mecánicas de reciclados de plásticos producidos en Ecuador como material de construcción. *Investigación y Desarrollo FIGEMPA*.
- Song, J., & Huang, C. (2023). Analysis of LRFD factors for a linear limit-state equation with correlated and time-independent random variables: Closed-Form formulation and numerical algorithm. *Engineering Structures*.
- Stark, N. M., & Rowlands, R. E. (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of. En *Wood and fiber science*.

ZwickRoell GmbH & Co. KG. (s.f.). *Direct Industry*. Obtenido de Bending test fixture: <https://www.directindustry.com/prod/zwickroell-gmbh-co-kg/product-15660-1655243.html>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Townsend Falcones Carla Isabella**, con C.C: **0925904575** y **Vera Valdez Jorge Luis**, con C.C: **0925639569** autor/a del trabajo de titulación: **Factores de resistencia para el cálculo LRFD de la madera plástica**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** 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 titulación 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 titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 4 de septiembre de 2025

LOS AUTORES:

Townsend Falcones Carla Isabella
C.C: 0925904575

Vera Valdez Jorge Luis
C.C: 0925639569



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Factores de resistencia para el cálculo LRFD de la madera plástica.		
AUTOR(ES)	Carla Isabella Townsend Falcones; Jorge Luis Vera Valdez		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Barros Cabezas, José Andrés		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero/a Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	4 de septiembre de 2025	No. PÁGINAS:	25
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería, Ingeniería estructural, Ingeniería en materiales.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Madera plástica, diseño LRFD, materiales alternativos, cortante, flexión, factores de resistencia,		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>La madera plástica se ha utilizado como material para resolver, en su mayoría, necesidades no estructurales, salvo en casos particulares como los forjados en estructuras sometidas al agresivo ambiente del mar. En la actualidad, su diseño se basa en el uso de los criterios de Diseño de Esfuerzos Permisibles (ASD), es decir, factores de seguridad, que no están en línea con la práctica actual de diseño estructural para otros materiales, donde se utilizan métodos basados en probabilidades, como el Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD). En este trabajo se estudia la incertidumbre del comportamiento de la madera plástica en cuanto a su resistencia y rigidez, para lo cual se realizaron dos tipos de ensayos: cortante y flexión del material. Con los resultados de los ensayos se realizó un estudio probabilístico mediante la metodología Monte-Carlo, para definir los factores adecuados para el diseño estructural de la madera plástica. Se concluye que los tableros de madera plástica resultan una alternativa de construcción liviana frente a las losas tradicionales.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-968056114; +593-993058841	E-mail: ctownsend2002@hotmail.com; jorge_luis151@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-984616792		
	E-mail: clara.glas@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):			