

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

TEMA:

**Prototipo de paneles de madera contralaminada (CLT) con
especies maderables del Cantón Naranjal.**

AUTOR:

Mejía Uday Jhonny Andrés

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Arquitecto**

TUTOR:

Arq. Boris Andrei Forero Fuentes

Guayaquil, Ecuador

8 de septiembre del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

CARRERA DE ARQUITECTURA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Mejía Uday Jhonny Andrés**, como requerimiento para la obtención del título de **Arquitecto**.

TUTOR (A)



Firmado electrónicamente por: FUENTES BORIS ANDREI FORERO

f.

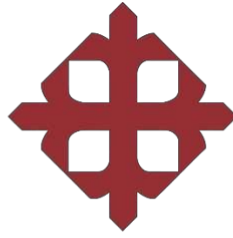
Arq. Forero Fuentes, Boris Andrei; Mgs.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Arq. Chunga de la Torre, Félix Eduardo; M.Sc.

Guayaquil, 8 de septiembre de 2023.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

CARRERA DE ARQUITECTURA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD


Yo, **Mejía Uday Jhonny Andrés**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Prototipo de paneles de madera contralaminada (CLT) con especies maderables del Cantón Naranjal**, previo a la obtención del título de **Arquitecto** 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 8 días del mes de septiembre del año 2023

f. 
EL AUTOR (A)

Mejía Uday Jhonny Andrés



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO CARRERA
DE ARQUITECTURA**


AUTORIZACIÓN

Yo, **Mejía Uday Jhonny Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Prototipo de paneles de madera contralaminada (CLT) con especies maderables del Cantón Naranjal**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2023

EL AUTOR:

f. 

Mejía Uday Jhonny Andrés

Estudiante: Jhonny Andrés Mejía Uday



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Prototipo de CLT con especies maderables del cantón naranjal - JHONNY MEJÍA

CLT, Guayas, Naranjal.

2%
Similitudes



< 1%

Texto entre comillas
0% similitudes entre comillas

< 1%

Idioma no reconocido

Nombre del documento: Prototipo de CLT con especies maderables del cantón naranjal - JHONNY MEJÍA.docx
ID del documento: f54b7179e7e4f98a58ed421cb3568b18a3ea2b18
Tamaño del documento original: 5,44 MB
Autor: Jhonny Andrés Mejía Uday

Depositante: Jhonny Andrés Mejía Uday
Fecha de depósito: 27/8/2023
Tipo de carga: url_submission
fecha de fin de análisis: 28/8/2023

Número de palabras: 17.703
Número de caracteres: 118.800

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	MANTILLA, PEDRO VEINTIMILLA, DANIEL, TESIS.pdf MANTILLA, PEDRO VE... #40853c El documento proviene de mi grupo 4 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (334 palabras)
2	localhost Edificios de servicios académicos http://localhost:8080/xmlu/bitstream/3317/11809/3/T-UCSG-PRE-ARQ-CA-338.pdf.txt 14 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (194 palabras)
3	www.en.aenor.com https://www.en.aenor.com/_layouts/15/tr.aspx?c=N0066067	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (187 palabras)
4	www.slideshare.net Ensayos a la madera-Ing civil PDF https://www.slideshare.net/miwef/ensayos-a-la-madera-Ing-civil 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (146 palabras)
5	localhost Diseño del nuevo Edificio Municipal para Puerto Villamil Isabela - Galápa... http://localhost:8080/xmlu/bitstream/3317/3609/3/T-UCSG-PRE-ARQ-CA-42.pdf.txt 12 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (115 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.inia.uy http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos compartidos/Fpta-62-Proyecto-306-Puentes.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
2	Documento de otro usuario #41234e El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
3	www.doi.org Planar shear and bending properties of hybrid CLT fabricated with ... https://www.doi.org/10.1016/j.CONBUILDMAT.2017.04.205	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
4	repositorio.espe.edu.ec Implementación de un sistema de almacenaje utilizando... http://repositorio.espe.edu.ec/8080/bitstream/21000/26886/4/M-ESPEL-CLT-0133.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
5	blogs.iadb.org La madera como material de construcción de viviendas: ¿cuáles s... https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/la-madera-como-material-de-construccion-de-vivien...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://www.scielo.br/j/rmat/a/Kvz4YzJ8n64y93m8Z9YN9N/?format=pdf&lang=pt>
- <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105485>
- [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE))
- <https://doi.org/10.3390/su1510782>
- <https://doi.org/10.3390/f14020264>



Tutor: Arq. Boris Forero Fuentes, Mgs.
Estudiantes: Jhonny Andrés Mejía Uday
Tema: Centro Violeta para Guayaquil
Porcentaje de Coincidencia COMPILATIO: 2%

Agradecimiento

En este momento tan significativo, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en la realización de esta tesis. En primer lugar, mi gratitud eterna va hacia mis padres, quienes han sido mi mayor inspiración y pilar inquebrantable a lo largo de este camino. Su apoyo moral y económico ha sido la base que me ha permitido alcanzar este logro, y no tengo palabras suficientes para expresar mi reconocimiento por su amor incondicional.

En segundo lugar, quiero extender mi agradecimiento al incansable apoyo brindado por mi tutor de tesis y a todo el personal de la fábrica de Ecomateriales. Sus valiosos consejos, orientación y disposición constante fueron fundamentales para el desarrollo exitoso de este trabajo. La colaboración y conocimientos compartidos en este proyecto han sido un cimiento esencial en mi crecimiento académico y profesional.

En tercer lugar, dedico un especial agradecimiento a mi universidad, que me ha brindado las herramientas y conocimientos necesarios para enfrentar los desafíos de esta investigación. La infraestructura y recursos proporcionados han sido cruciales para el éxito de mi tesis, y valoro profundamente la formación que he recibido en esta institución, que me ha permitido crecer como profesional y como individuo.

En conjunto, quiero expresar mi más profundo reconocimiento a cada una de estas partes fundamentales en mi viaje académico. Sin su apoyo, orientación y confianza, este logro no habría sido posible. Este trabajo no solo es mío, sino que también es un reflejo del esfuerzo colectivo y la colaboración que ha marcado cada etapa de este recorrido. Mi más sincero agradecimiento a todos ustedes.

Dedicatoria

Quiero dedicar este logro con profundo cariño y gratitud a la memoria de mi abuelo, cuyo legado de determinación y sabiduría siempre me ha inspirado a alcanzar mis metas. A mis amados padres, cuyo respaldo inquebrantable ha sido mi fuerza motriz en cada paso de este arduo camino que se termina, pero es el comienzo a grandes cosas. A mis queridos hermanos, quienes han sido mi fuente de ánimo y apoyo constante a lo largo de esta travesía. A mis amados sobrinos quiénes fueron motivo de superación, para lograr ser un ejemplo en sus vidas.

Esta dedicación también es para mí mismo, un recordatorio de la constante batalla que he enfrentado para llegar a este punto. Cada desafío superado y cada obstáculo vencido han forjado mi determinación y me han permitido crecer como persona. Este logro es un testimonio del esfuerzo incansable, del compromiso y del deseo de superación que han guiado mi camino. Con esta dedicación, reconozco a aquellos que me han respaldado y celebro la valentía y la perseverancia que me han llevado hasta aquí.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.

Arq. Bamba Vicente, Juan Carlos; PhD.

EVALUADOR 1

f.

Arq. Viteri Chávez, Filiberto José; M.Sc.

EVALUADOR 2

f.

Arq. Naranjo Ramos, Yelitza Gianella; PhD.

OPONENTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
CARRERA DE ARQUITECTURA

Calificación.



Firmado electrónicamente por: **BORIS ANDREI FOREROFUENTES**

f.

Arq. Forero Fuentes, Boris Andrei; Mgs.

Tutor

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN	III
IV Reporte de URKUND	IV
Agradecimiento	V
Dedicatoria	VI
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICES DE TABLAS	X
ÍNDICES DE FIGURAS	XI
RESUMEN (ABSTRACT)	XII
INTRODUCCIÓN	2
Problema de investigación	2
Formulación del problema	6
OBJETIVOS	7
Objetivo General	7
Objetivos específicos	7
JUSTIFICACIÓN	7
Contribución potencial del estudio	8
MARCO TEORICO	9
Antecedentes de la investigación	9
La industria de la madera laminada cruzada (CLT)	18
Proceso de producción de Paneles de Madera contralaminada CLT	22

Beneficios, ventajas y riesgos de la construcción de viviendas con Paneles de

Madera contralaminada CLT	24
Comparativo de materiales utilizados en muros divisorios	28
Costos de muros por m ²	29
Características de la madera para la elaboración de Paneles de Madera contralaminada CLT.....	30
Características esenciales del CLT según la Norma UNE-EN 16351	33
Propiedades mecánicas de la madera y su comportamiento sujeto a tensión y a compresión	35
La Industria maderera en Ecuador.....	36
MARCO METODOLÓGICO	38
Enfoque, tipo y diseño de la investigación.....	38
Recolección de la información	38
Fase 1. Producción de paneles	39
Paso 1.- Selección de la especie maderable	39
Paso 2.- Recolección de residuos	41
Paso 3.- Acopio de la madera	41
Paso 4.- Dimensionamiento de la madera	42
Paso 5.- Cepillado de la madera	42
Paso 6.- Encuadre de los fillos	43
Paso 7: Inmunización de la madera.....	43
Paso 8.- Secado de la madera	46
Paso 9.- Unión de capas por su tipo de madera	47
Paso 10.- Aplicación de encolado	47
Paso 11.- Prensado del CLT	48
Paso 12.- Trazado de los paneles	49
Paso 13.- Encuadre de los paneles	49
Fase 2. Ensayos de laboratorio	51
Ensayo de flexión perpendicular a las fibras	51

Ensayo de compresión perpendicular a las fibras.	54
Ensayo de compresión paralela a las fibras.	56
Ensayo de durabilidad a la interperie	58
Resumen de propiedades físico - mecánicas de los paneles de CLT producidos	59
Conclusiones y recomendaciones	59
Referencias	63

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo de muros divisorios	29
Tabla 2. Comparación de los costos de muros por m2.....	30
Tabla 3. Ensayos de flexión perpendicular a las fibras (Resistencias mínimas).....	53
Tabla 4. Ensayos de flexión perpendicular a las fibras (CEINBES)	55
Tabla 5. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras (Resistencias mínimas)	56
Tabla 6. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras. (Ceinbes)	58
Tabla 7. Ensayos de flexión paralela a las fibras (Resistencias mínimas).....	59
Tabla 8. Ensayo de compresión paralela a las fibras. (Ceinbes).....	60
Tabla 9. Propiedades de los paneles. Elaboración propia.....	62

ÍNDICES DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Composición de panel CLT	21
Ilustración 2. Construcción en CTL	28

ÍNDICES DE IMÁGENES

Imagen 1. Recolección de Residuos en aserradero perteneciente a la Parroquia San Carlos del cantón Naranjal	41
Imagen 2. Madera apilada en laboratorio de Ecomateriales.	42
Imagen 3. Producto de la madera dimensionada (Fernán Sánchez, Balsa, Bambú).....	42
Imagen 4. Cepilladora eléctrica	43
Imagen 5. Lija eléctrica en funcionamiento	43
Imagen 6: Preparación de sales de boro.	44
Imagen 7. Inmersión de madera en recipiente para su inmunización.	45
Imagen 8. Madera sumergida apilada	45
Imagen 9. Aplicación de pegante de secado rápido para unión de las capas	47
Imagen 10. Aplicación de encolado.	48
Imagen 11. Prensado de los paneles CLT.....	48
Imagen 12. Encuadre de paneles.....	49
Imagen 13. Paneles encuadrados.....	49
Imagen 14. Resultado de los paneles encuadrados	50

Imagen 15. Prueba de flexión en el laboratorio del CEINBES..	52
Imagen 16. Personal a cargo de las pruebas de laboratorio del CEINBES..	54
Imagen 17. Prueba de compresión en el laboratorio del CEINBES.	56
Imagen 18. Prueba de durabilidad día 1.	58

RESUMEN (ABSTRACT)

La vivienda es un pilar fundamental para el desarrollo humano y social. En América Latina y el Caribe, y específicamente en Ecuador, donde existe un déficit significativo de unidades habitacionales de calidad. La madera, un recurso natural renovable, ha sido históricamente un material de construcción esencial. Sin embargo, en la región, la construcción en madera a menudo se asocia con viviendas de baja calidad. En este escenario, la madera contralaminada (CLT) surge como una alternativa sostenible y de alta calidad. El objetivo general de la presente investigación ha sido determinar el aporte de las propiedades físico-mecánicas de probetas de CLT con maderas recicladas del cantón Naranjal en el año 2023, para la reducción del déficit habitacional en Ecuador. Los objetivos específicos incluyen la identificación de empresas que elaboran estas probetas, el destino de su producción y la evaluación de sus propiedades como una alternativa viable en el sector de la construcción.

La metodología se centró en el desarrollo de los paneles y los ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades físico-mecánicas de las probetas de CLT. Se siguieron normativas como ASTM D 143-94, UNE-EN 16351 y la norma técnica E.070 de Perú. Los ensayos incluyeron pruebas de resistencia a la flexión y compresión, tanto perpendicular como paralela a las fibras, y pruebas de durabilidad a la intemperie. En las pruebas realizadas, los paneles de CLT superaron ampliamente las normativas técnicas en términos de resistencia y esfuerzo máximo, validando su eficacia y calidad. Los ensayos de durabilidad confirmaron la efectividad del pegamento y del proceso de inmunización, incluso en condiciones extremas de humedad. De esta manera, los paneles de CLT son una alternativa viable, resistente y sostenible en la industria de la construcción.

Palabras Claves: Vivienda, CLT, residuo, maderas, resistencia, paneles

INTRODUCCIÓN

Problema de investigación

La vivienda es una de las necesidades fundamentales para el ser humano. Es considerada un bien de primera necesidad, sin esta, un sector de la población que viva en riesgo social como la exclusión, pobreza o desigualdad social, muy dificultosamente podría llegar a mejorar su calidad de vida. Por tanto, el incremento al acceso a una unidad habitacional digna, construida con materiales de calidad para aquellos más necesitados de la población, es vital para lograr un auténtico desarrollo tanto nacional como regional.

América Latina y el Caribe es una región de las más urbanizadas a nivel mundial, cerca del 80% es considerada urbana. Sin embargo, el déficit de unidades habitacionales dignas es muy significativo para esta región. A este respecto, Ecuador no constituye la excepción y mucho más de dos millones de hogares presentan algún tipo de déficit habitacional, lo cual afecta a las familias de menores recursos e ingresos. Esta cifra se acrecienta en aproximadamente dos puntos porcentuales al tratarse de hogares donde la jefatura de los mismos es evidente y mayoritariamente femenina (78%); y casi en ocho puntos porcentuales para los hogares que tienen tres o más menores o adultos mayores bajo su responsabilidad. (84%) (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022).

Para el Banco Interamericano de Desarrollo (2016), la insuficiencia o falta de unidades habitacionales apropiadas, así como la vulnerabilidad del hábitat por efectos naturales, reflejan la compleja situación socioeconómica que vive gran parte de la población Latinoamericana y del Caribe. A efectos de plantear metas factibles encaminadas a solventar la insuficiencia habitacional, se utiliza el indicador denominado déficit habitacional, índice que procura resumir tanto las deficiencias de unidades habitacionales como del hábitat. Este déficit abarca o expresa desde la ausencia total de viviendas hasta la falta de circunstancias y escenarios que garanticen una vida digna para los ciudadanos. El déficit habitacional es un mentor de programas, políticas y

financiación tanto públicos como privados de importantes organizaciones internacionales de carácter multilateral.

Para el Banco Interamericano de Desarrollo (2016), el déficit habitacional puede concebirse como la fusión de demandas tanto cuantitativas como cualitativas:

- Déficit cuantitativo: escasez e insuficiencia de unidades habitacionales desde dos perspectivas: (1) que la cantidad de grupos familiares que viven bajo el mismo techo y comparten las facilidades para preparar sus alimentos, supere a más de una; (2) familias que residan en unidades habitacionales sin posibilidad de ser reformadas vista la pobre calidad de los materiales con que fue construida.
- Déficit cualitativo: este déficit no considera las unidades habitacionales tomadas en cuenta en el déficit cuantitativo. El déficit cualitativo se concibe desde los siguientes escenarios:
 - Situaciones deficientes de la unidad habitacional: viviendas con por lo menos una de estas condiciones:
 - Techo elaborado de materiales inestables y de poca permanencia.
 - Paredes e infraestructura física construidas con materiales no consistentes y permanentes.
 - Suelos de la unidad habitacional de tierra.
 - Hacinamiento: que habiten en un solo cuarto de la unidad habitacional más de tres individuos.
 - Circunstancias deficientes del vecindario: falta de infraestructura o de los siguientes servicios público:
 - Privación y falta de agua potable con acceso a la vivienda a través de tuberías.
 - Inexistencia de cloacas o sistemas de recolección de aguas servidas.
 - Falta de servicio de electricidad.
 - Inexistencia de servicio de recogida de desechos sólidos.

En Ecuador la situación de la falta de viviendas es crítica, de acuerdo al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2020), a finales del año 2020 el Déficit Habitacional Nacional, se ubicaba en 2.744.125 unidades habitacionales, de las cuales, son recuperables 2.078.513 viviendas e irrecuperables 665.612 unidades habitacionales. Del total de las viviendas recuperables, 1.374.960 necesitan mejoras y 703.553 están en un estado muy deplorable que casi podrían ser consideradas irrecuperables, pero que con mejoras muy importantes o sustanciales podrían recuperarse. Del total de las viviendas oficialmente consideradas no recuperables 286.753 necesitan reconstruirse totalmente y 378.859 definitivamente son totalmente irrecuperables y deben ser desincorporadas para su uso habitacional. En este sentido, el déficit habitacional de viviendas recuperables es más severo en la región de la Costa en Ecuador, donde este indicador apunta a 1.325.768 unidades habitacionales, le sigue en orden de importancia la región Sierra con 541.459 viviendas (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2020). En este orden de ideas es preciso resaltar que, en Ecuador, en el año 2022, el hormigón armado fue el principal material para las edificaciones a construir a nivel cantonal, en cimientos (86,5%), pisos (24,6%), estructura (80,8%) y cubierta (28,6%). El principal material de las paredes fue el bloque, registrado para el 60,3% de las potenciales edificaciones (INEC, 2022, pág. 6).

En consecuencia, se observa el poco uso de la madera, en sus diferentes ofertas y especificaciones técnicas para la construcción en todas las regiones del Ecuador. Sin embargo, los materiales de construcción que pueden considerarse como sostenibles pueden catalogarse en dos tipos: los materiales naturales o también conocidos como orgánicos y los materiales inorgánicos o reciclados. Puede resaltarse que entre los materiales naturales están la tierra, piedra, arena, arcilla, y la madera entre otros (Sornoza, Caballero, Zambrano, & Veliz, 2022).

La madera es un componente natural que se puede encontrar en múltiples especies endémicas que puede estar presente como árboles o arbustos caracterizadas por ser productos maderables apropiadas para el uso humano. Del mismo modo, los árboles suministran servicios ambientales como la

captura de carbono atmosférico y purificación del aire (Hernández, Jiménez, & Sánchez, 2021).

La madera como elemento especial para la industria de la construcción, posee propiedades como elasticidad, una significativa resistencia mecánica y ligereza, propiedades que la hacen apetecible y muy demandada por la industria de la construcción.

La madera, desde tiempos muy remotos, ha sido el material por excelencia usado para la construcción de viviendas. Sin embargo, aun cuando del acero, el hierro y el hormigón han aportado significativos avances y aportes a la industria, la madera aún no ha perdido su notoriedad. Es importante resaltar que, la proporción de construcción de viviendas nuevas en madera puede llegar a sobrepasar el 60% en un país como Japón, el 70%, en Escocia, y el 85% en los Estados Unidos (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022). Sin embargo, en los países de América Latina y El Caribe, se asocia la construcción de vivienda en madera con proyectos habitacionales de poca calidad, presupuesto limitado o de dimensiones pequeñas. Esto en realidad no es apropiado. Recientemente, la industria de productos maderables destinados a la construcción ha evolucionado en virtud de las novedosas tecnologías que favorecen el uso de la madera en la construcción (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022).

En este sentido, la madera contralaminada (CLT) es un material de construcción compuesto por 3 capas de madera encoladas entre sí, con orientaciones alternas de las fibras que permite aumentar su resistencia y estabilidad. Con el creciente interés en soluciones sostenibles y el uso de materiales renovables en la construcción, el CLT ha ganado popularidad en los últimos años por ser un material de fácil instalación y ejecución en obra. El mismo, busca ser una alternativa frente a materiales menos ecológicos como por ejemplo el acero y hormigón, con una huella de carbono significativamente alta.

El CLT a pesar de ser utilizado ampliamente por países como Estados Unidos, Canadá, Alemania, China, etc. Es desconocido en la construcción en Ecuador, donde no existen normas o informes bibliográficos de ensayos experimentales del mismo.

Por tanto, su suso constituiría una alternativa viable para solventar el déficit habitacional de viviendas en Ecuador, específicamente aquellas del sector de las viviendas recuperables como las de nueva edificación.

Formulación del problema

Ante el escenario crítico del déficit habitacional nacional del Ecuador, es preciso no solamente la construcción de nuevas viviendas, sino de reparar aquellas que componen un alto porcentaje de viviendas reparables para garantizar la calidad de vida del ecuatoriano de escasos recursos, así como del resto de la población.

El CLT a pesar de ser utilizado ampliamente por países como Estados Unidos, Canadá, Alemania, China, etc. Es desconocido en la construcción en Ecuador, donde no existen normas o informes bibliográficos de ensayos experimentales del mismo.

Algunos de los motivos que han sido obviados por la industria de la construcción en cuanto al uso de la madera como elemento o factor clave para su uso en este sector son los siguientes:

- Significativa flexibilidad y poco peso, que hace de la madera un material inmejorable para hacer cara sismos y disminuir el volumen de los fundamentos o bases de las construcciones.
- Excelente potencial aislante del calor que supera hasta seis veces al ladrillo, 15 veces al hormigón y 400 veces al acero.
- Resistencia al fuego, en piezas voluminosas son muy resistentes al fuego y dura mucho más tiempo para derrumbarse que las infraestructuras de acero.
- Rapidez de construcción y reducción de costos, pues se trabaja en labores secas, incrementa la rapidez de construcción y reduce los costos de construcción (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022).

Por consiguiente, surgen las siguientes interrogantes de investigación:

¿Las propiedades mecánicas de las probetas de madera contralaminada (CLT) fabricadas en Naranjal durante el año 2023 favorecerían al sector industrial de la construcción?

¿Esta opción representa una alternativa viable para la disminución del déficit habitacional tanto cualitativo como cuantitativo en el Ecuador?

Para dar respuesta a estas interrogantes se presentan los siguientes objetivos de investigación.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el aporte de las propiedades físico-mecánicas de probetas de CLT con maderas recicladas del cantón Naranjal el año 2023 en la reducción del déficit habitacional del Ecuador.

Objetivos específicos

- Identificar las empresas en la provincia del cantón Naranjal para el año 2023 que elaboran de probetas de CLT con maderas recicladas
- Determinar en la provincia del cantón Naranjal para el año 2023 el destino de la producción de probetas de CLT con maderas recicladas.
- Investigar si las probetas de CLT elaboradas con maderas recicladas, presentan propiedades físicas y mecánicas que sean una alternativa para el sector de la construcción.

JUSTIFICACIÓN

La madera es un material renovable, que, con un buen aprovechamiento, se convierte en una solución sostenible y de menor impacto ambiental al sector de la construcción. Contribuye a la disminución de la huella de carbono por ser un recurso orgánico con bajas emisiones de Gases de efecto invernadero, es decir, carbono.

El CLT como producto tiene la ventaja de un menor consumo de energía en sus procesos, ya que no se requieren de maquinarias especiales, ni explotación minera para obtener su materia prima, la madera.

A pesar de que el CLT es un material ampliamente usado en diversos países como Estados Unidos, Austria, España, Canadá, Chile o Japón. Es un material desconocido en la construcción de Ecuador. Tampoco existe información bibliográfica con ensayos experimentales aplicados a paneles CLT fabricados en Ecuador.

El único documento nacional relacionado con el CLT es la tesis para optar el título de Arquitecto, de Luis Castillo, desarrollada en 2021 en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil. En este trabajo el autor propone diseñar una vivienda apropiada para personas de escasos recursos en altura, diseñada y modulada a través del sistema CLT donde se menciona los beneficios de la utilización del material en el Guayaquil.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-MD (2015) en su sección 3.1.1, establece que la madera a usarse en construcción debe de ser originario o derivado de bosques nativos, cuyo manejo se realice bajo un programa de manejo forestal sustentable, preferiblemente en plantaciones forestales cuyo volumen de aprovechamiento sea mínimo de 250 m³/ha.

Contribución potencial del estudio

Se espera que los aportes y hallazgos que surjan del presente trabajo de investigación puedan coadyuvar a la solución del déficit habitacional del Ecuador en todos y cada uno de sus aspectos. La presente investigación tiene la intención de impulsar futuras investigaciones, promulgar un pensamiento más crítico frente al mercado de la construcción con el uso y la elaboración de materiales ecológicos, de modo que las futuras generaciones puedan mejorar e implementar nuevos enfoques en el uso de la madera, desde sus perspectivas físicas y mecánicas para favorecer a la industria de la construcción a través del uso de materiales más ecológicos y amigables con el medio ambiente.

MARCO TEORICO

Antecedentes de la investigación

Una investigación titulada ¿Es la madera contralaminada (CLT) un panel de madera, un edificio o un sistema de construcción? Una revisión sistemática de sus funciones, características, desempeños y aplicaciones, efectuada por De Araujo & Christoforo, (2023), plantean en su estudio que la madera contralaminada (CLT) ha sido ampliamente debatida como una solución de construcción industrializada relevante. Numerosos estudios han considerado a CLT como un panel estructural a base de madera, pero también lo han considerado como un edificio o incluso como un sistema constructivo. Muchos autores abordan su aplicación en edificios de varios pisos, aunque las casas unifamiliares y las aplicaciones de edificios bajos también se han convertido en temas deseables.

En virtud de estas vacíos conceptuales, este estudio de revisión de la literatura aborda un método sistemático para evidenciar las funciones de la madera contralaminada en la construcción. La elucidación y discusión fueron conducidas por contenidos técnicos y científicos a través de publicaciones presentes en sitios web científicos y en el buscador web Google. Se identificaron percepciones intrincadas sobre el conocimiento y la referencia de las funciones CLT. De las prospecciones, fue posible afirmar que CLT es un producto maderero-forestal creado en Europa, cuya función actúa como panel compuesto estructural de la categoría de productos de madera de ingeniería. Sin embargo, CLT ha sido referido por varias publicaciones como un edificio o un sistema de construcción. Se plantearon sugerencias para aclarar a todos los lectores con respecto a conceptos erróneos, y aclarar los sistemas constructivos capaces de utilizarlo como principal recurso. Las discusiones evidenciaron las características y potencialidades de este producto de madera. Incluso con su creciente aplicación en edificios altos, la aplicación comercial de CLT en edificios de baja altura puede impulsarse por la perspectiva de producción a gran escala de viviendas industrializadas. La

investigación adelantada por Bhandari, et al., (2023) y titulada Una revisión de la construcción modular de madera contralaminada: implicaciones para viviendas temporales en áreas sísmicas, planteó como objetivo principal evaluar las características de la construcción modular CLT completadas en el periodo comprendido entre al 2009 al 2021, centrándose en el diseño arquitectónico y de ingeniería, la fabricación y la logística. La implicación de estos aspectos en el uso de estructuras modulares CLT en regiones sísmicas y como solución para viviendas temporales y viviendas masivas rápidas fue igualmente investigado.

Este estudio considera que la construcción modular tiene múltiples ventajas sobre las alternativas convencionales, incluidos cronogramas de construcción acelerados, mayor certeza sobre los costos, tiempos y calidad de construcción, y menos desperdicio durante la construcción. Los paneles de madera de ingeniería prefabricados, como la madera laminada cruzada (CLT), son muy adecuados para estructuras modulares.

Los hallazgos mas evidentes de la investigación fueron los esfuerzos realizados en el desarrollo en la construcción modular utilizando CLT. Se espera que este artículo de revisión ayude a las comunidades de ingeniería, arquitectura y fabricación en el uso de CLT en estructuras modulares como solución a viviendas de emergencia y construcción rápida.

En un estudio titulado Revisión del estado del arte de los miembros de madera laminada con espigas y los materiales de madera densificada como productos de madera de ingeniería sostenible para aplicaciones de construcción y edificación, efectuado por Sotayo, et al., (2020), aborda temáticamente a los productos de madera de ingeniería (EWP, por sus siglas en inglés), los cuales cada vez más son usados como materiales de construcción. No obstante, el uso preponderante de adhesivos a base de petróleo en los EWP favorece a la liberación de gases tóxicos (por ejemplo, compuestos orgánicos volátiles (COV) y formaldehído) altamente dañinos para el entorno ambiental.

Flores (2022), realizó un estudio al cual tituló Estudio técnico, económico y ambiental del uso de la madera contralaminada como alternativa a la construcción de viviendas sociales en Chile.

Este tuvo como objetivo principal analizar la utilización de la Madera Contralaminada (CLT) como opción para construir viviendas de interés social en Chile, las cuales de manera tradicional han sido construidas en albañilería confinada. El uso del CLT resultó novedoso para la construcción de viviendas sociales, evidenciando cuantitativamente las medidas de gestión e impacto medioambiental y sus discrepancias referente a su equivalente en albañilería. Los hallazgos revelan que, si bien el CLT conserva excelentes condiciones desde sus cualidades, y una mejor ventaja que la albañilería tanto en tiempos de construcción como en impacto ambiental, de igual modo, en cuanto a costos de construcción, el CLT evidencia un incremento importante en su costo directo con relación a la albañilería, siendo este hallazgo muy relevante en virtud de las restricciones presupuestarias oficiales para la construcción de viviendas de interés social.

En una investigación que se titula Vivienda colectiva en sistema prefabricado CLT: un límite dinámico e integral para las diversas clases socioeconómicas del barrio la Floresta, realizada en Ecuador por Ouedraogo (2022), planteó como parte de sus objetivos Explorar el CLT como sistema constructivo en los módulos de vivienda. Para ello desarrolla un proyecto de vivienda colectiva con una mezcla de usos en su correspondiente planta baja. Se procuró reforzar las dinámicas sociales y crear un borde alentador en el límite del barrio La Floresta.

Metodológicamente, la investigación se realizó en diferentes fases, en su primera fase, se trabajó con 2 estudiantes universitarios chilenos, para realizar el análisis arquitectónico en sistemas prefabricados, redibujando planos, diagramas y conjuntamente se estudió el proyecto: “La Maison Tropicale” de Jean Prouvé. Este estudio logró la comprensión de la importancia de la modulación, los materiales con sus respectivas restricciones, los ensambles y el modo de concebir el espacio. Posteriormente, una vez comprendidos los sistemas prefabricados se utilizó las premisas constructivas para efectuar una propuesta de habitáculo mínimo.

En una segunda fase, se realizó el análisis de los barrios la Floresta, La Vicentina y Guápulo, con 14 estudiantes universitarios chilenos. El análisis

produjo mapeos morfológicos, fenomenológicos, normativos, entre otros, permitiendo la comprensión de las condiciones, restricciones y oportunidades del contexto cercano.

Una tercera fase permitió desarrollar el plan masa, obteniendo mapeos, esquemas, cortes, planos e imágenes objetivos, que sirvieron de base para ahondar el plan masa. Por último, se desglosó y desarrolló el plan masa, forjando un ante proyecto, con una sinopsis de mapeos y esquemas, plantas, cortes, fachadas y maqueta virtual.

Todos estos elementos mencionados anteriormente serán los compendios de los catálogos y libros que presenten las empresas responsables de la producción, regularización y consultoría de construcciones en CLT, como en este caso lo es la empresa Egoing y Rothoblass, lo cual permitirá el desarrollo del proyecto de construcción con su respectivo proceso y resultado.

En su estudio, Sotayo, et al., (2020), refieren que, el uso de adhesivos en EWP afecta su eliminación, reutilización y reciclabilidad al término de su vida útil. El estudio se enfocó en los miembros de madera laminada con pasador y los materiales de madera densificada, que constituyen alternativas sostenibles y libres de adhesivos a los EWP de uso común (p. ej., glulam y CLT).

En este orden de ideas, las propiedades mecánicas mejoradas y el ajuste apretado debido a la recuperación elástica de la madera densificada respaldan su uso como alternativas sostenibles a los sujetadores de madera dura para superar sus desventajas, como la pérdida de rigidez con el tiempo y la inestabilidad dimensional. Este enfoque también contribuiría a la adopción de miembros de madera laminada con pasadores y materiales de madera densificada para aplicaciones estructurales más diversas y avanzadas y, posteriormente, generar beneficios ambientales y económicos (Sotayo, et al., 2020).

Esta investigación concluye que como resultado de las preocupaciones ambientales, existe un creciente interés en el uso de la madera y el desarrollo de elementos estructurales a base de madera. Esto ha llevado a una amplia gama de EWP utilizados de modo innovador para reemplazar los materiales de construcción tradicionales, como el acero y el hormigón. El desarrollo y la

caracterización de EWP innovadores brindan nuevas posibilidades para el uso eficiente de la madera. Aunque los EWP tienen energías incorporadas relativamente bajas y carbono incorporado, un inconveniente importante es la inclusión de adhesivos durante su fabricación y vida útil. Los problemas clave con estos adhesivos (p. ej., el adhesivo UF) son las preocupaciones ambientales y de salud asociadas con la liberación de gases tóxicos (p. ej., formaldehído y VOC), así como la reciclabilidad y la reutilización.

Esta investigación constituye un importante referente teórico y metodológico para el presente estudio pues ratifica la importancia de la madera actualmente en la industria de la construcción, especialmente la madera laminada con espigas y los materiales de madera densificada.

Una investigación efectuada en 2017 titulada como Madera contralaminada (CLT) como forma alternativa de madera de construcción, fue realizada por Wieruszewski & Mazela (2017), señalan que la madera, como material natural y renovable, está ganando cada vez más consideración y se usa cada vez más en la industria de la construcción. El uso de la madera ha mejorado debido a la aplicación de tecnologías de unión modernas (por ejemplo, madera laminada encolada, madera laminada cruzada), el desarrollo de tecnología de producción moderna y métodos mejorados de protección de la madera contra incendios. En virtud de que hay disponibles en el mercado surtidos de madera de construcción de gran tamaño en forma de vigas de luz y tableros, es posible realizar juntas estables y duraderas entre los elementos de construcción individuales de un edificio. Entre los materiales de madera utilizados para la construcción, el CLT se utiliza cada vez más.

Wieruszewski & Mazela (2017), afirman que esta se aplica en la construcción de viviendas unifamiliares, edificios residenciales, edificios de varias plantas, edificios públicos, edificios industriales y comerciales, así como puentes. CLT se desarrolló como consecuencia de una investigación europea sobre cómo utilizar la madera corta, que queda después de la eliminación de fallas, para la construcción privada. La tendencia se extendió muy rápido a la industria de la construcción en América del Norte, Australia y Japón. CLT se usaba cada vez más en edificios de varios pisos debido a su mayor resistencia sísmica. A este respecto, al inicio de los años 30, el uso de este material de construcción

era mínimo. Sin embargo, debido a la tendencia ecológica y una amplia gama de factores económicos (el valor del material utilizado y los costos de producción combinados con la alta precisión de los productos terminados), esta tecnología ganó una popularidad significativa. El incremento del interés en las construcciones de madera también se debió a mejores canales de distribución y aprobaciones técnicas para diferentes conceptos de tableros de construcción de madera. De acuerdo a los investigadores consultados, los países son líderes en la producción y uso de CLT son los siguientes: Austria, Alemania, Suiza, Suecia, Noruega y el Reino Unido. En los últimos años, Nueva Zelanda y Australia se han sumado a este grupo. Los tableros CLT son exportados a América del Norte, Japón y Rusia. La oleada de productores e inversores, así como el interés en los tableros CLT es el resultado de la diversidad del proceso de producción y la variabilidad de la construcción. Por consiguiente, existe un número creciente de conceptos que especifican el rango de aplicación del producto, en función de su fuerza y resistencia.

Una investigación titulada Madera Contralaminada para Construcción Residencial Unifamiliar: Estudio Comparativo de Costos, realizada por Burbach & Pei (2017), tuvo como objetivo fundamental efectuar un estudio comparativo de costos de construcción para tres diseños diferentes usando el mismo plano de planta residencial unifamiliar: estructura de madera ligera tradicional, todo CLT y opciones optimizadas de CLT. Se cuantificaron las diferencias de costos entre estas diferentes opciones y se evaluó el potencial de la construcción unifamiliar CLT en términos de costo de construcción.

En este sentido, la madera contralaminada (CLT) ha surgido en los últimos años para convertirse en un producto de madera en masa ampliamente reconocido para proyectos de construcción de madera a gran escala. La ventaja de los grandes edificios de CLT ha sido reconocida por los inversores y el público, lo que ha dado lugar a una serie de edificios altos de madera en todo el mundo. En general, se cree que los edificios CLT de nueva construcción pueden ser competitivos en costos frente a las opciones de acero y concreto en ciertos escenarios. Sin embargo, la rentabilidad de CLT en la construcción residencial unifamiliar es cuestionable en comparación con la construcción tradicional de madera con estructura ligera.

Una investigación titulada Análisis del desempeño sísmico de una estructura de mediana altura de paneles CLT, llevada a cabo por Benedetti & Hidalgo (2017) en Chile, señala la procura y búsqueda de novedosas tecnologías que tiendan a minimizar el impacto sobre el medio ambiente tiene la industria de la construcción en la actualidad. Por ello, desarrolla aspectos temáticos muy relevantes sobre la importancia de la investigación y búsqueda de nuevos sistemas de construcción, así como de materiales amigables con el entorno natural, y los hallazgos de estos autores apuntan a que el material más apto para afrontar este reto es la madera.

En este orden de ideas, las edificaciones con este material se limitan a la construcción de viviendas de interés social fundamentalmente, por tanto, debe demostrarse que el uso de este material en nuevos sistemas de construcción es factible, como el caso del CLT (Cross Laminated Timber).

El objetivo fundamental de este estudio fue realizar un análisis del comportamiento estructural de esta clase de construcciones y evaluar su desempeño sísmico. El estudio, plantea la estructura de un edificio de cuatro pisos de altura, cuyos compendios principales son paneles de madera contra laminada (CLT) y conectores metálicos (tipo Angle Brackets). El modelo geométrico de la estructura se realizó a través del software SAP2000 mientras que el análisis no lineal, se realizó utilizando el software OpenSess. Los análisis realizados la investigación corresponden a un análisis de carga lateral y un análisis tiempo- historia, este último se ejecutó para cinco demandas sísmicas. Este estudio concluye efectuando un análisis sísmico,

identificando el nivel de daño estructural para cada caso con relación a las demandas sísmicas utilizadas. Se puede observar que la estructura responde de manera satisfactoria para la mayoría de las demandas sísmicas, a excepción del modelo compuesto por un conector entre paneles donde llega al estado de daño de colapso inminente ante el sismo de Northridge. (Benedetti & Hidalgo, 2017).

En un estudio realizado en Uruguay por Godoy, Vega, & Baño (2017), titulado Caracterización de paneles de madera contralaminada (CLT) fabricados a partir de tablas de *Pinus Taeda/elliottii* de bajas propiedades mecánicas, se

planteó la realidad del Uruguay con respecto al excedente actual de madera de pino sin destino comercial, y lo necesario del interés nacional de impulsar las inversiones que permitan la diversificación productiva para los productos derivados de la madera. El empleo de paneles de CLT para la construcción de edificaciones representa una oportunidad para el uso comercial de un significativo volumen de madera. Igualmente, promovería su uso en el sector de la construcción, que en la actualidad es escasa especialmente por el desconocimiento del comportamiento de la madera por parte de los profesionales de la arquitectura e ingeniería.

En la actualidad los paneles de CLT no son fabricados a nivel comercial en Uruguay. Partiendo de tablas de *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* obtenidas de raleos forestales de bajas propiedades mecánicas ($E_{0,m}=7155 \text{ N/mm}^2$ y $f_{m,k}=9.1 \text{ N/mm}^2$) se elaboraron 5 paneles de madera CLT. Fueron configuradas en 3 capas, de dimensiones de 102x381x3000 mm y encolados con adhesivo estructural de Emulsión Polímero Isocianato. Los hallazgos experimentales para la caracterización en flexión de los paneles de acuerdo a las demandas de la norma EN 16351. Basados en los resultados alcanzados, se genera una aproximación pionera a la caracterización de los paneles fabricados CLT, cotejando resultados de ensayos alcanzados partiendo de las tablas que componen los paneles con resultados de ensayos de panel.

En un estudio denominado Revalorización de bloques de vivienda social en Chile por medio de paneles de madera, efectuada por Schmitt (2017), se abordó la realidad de Chile como país con una significativa vocación de edificación en madera, no obstante, Actualmente gran parte de las estructuras se construyen con elementos de albañilería y hormigón. La utilización de maderas blandas ha incidido en que la madera sea considerada un elemento de poca calidad y no alcance a consolidarse en los sistemas de construcción chilenos.

En este sentido, en el marco de las estructuras en madera, los sistemas de paneles Midply y Panel CL, son relevantes en el contexto chileno por su comportamiento resistente contra los sismos por medio de muros arriostrantes. Para determinar la posibilidad de estos sistemas en Chile fueron evaluados aspectos sociales, técnicos y normativos. Se estableció que ambos

sistemas son convenientes para el contexto país, pero con ciertas consideraciones. Para implementarlos es preciso mejorar la impresión desfavorable de los usuarios y asimilar el desempeño antisísmico de la madera en la Norma Chilena. Para estudiar su factibilidad arquitectónica se plantea ampliar bloques de 4 pisos de vivienda social en Santiago de Chile usando ambos sistemas. Estos bloques se han demolido para construir nuevas edificaciones ante el aumento de la demanda. Una opción más sostenible es reutilizar y mejorar los edificios existentes para densificar la agrupación de residencias. Lo ligero de los paneles Midply o CLT posibilita la libertad para diseñar los departamentos mientras que su fuerte resistencia a las cargas laterales concede un conveniente comportamiento sísmico a la infraestructura. Su combinación con el edificio de hormigón se considera una estructura inseparable con el mismo periodo de vibración, impidiendo su colapso ante un evento sísmico.

En una investigación adelantada en Chile y titulada Micro densificación - Villa Santa Carolina de Maipú en Santiago, realizada por Magro (2017) comenta sobre la realidad contradictoria existente en Chile pues gran parte de la población objeta la madera como forma de hábitat, pero, sin embargo, la utiliza para solventar sus necesidades mínimas, inconsciente que este país, es uno de los que a nivel global donde hay una mayor presencia de este recurso natural. La investigación tiene como objetivo central desarrollar una propuesta arquitectónica especializada por el uso de la madera, particularmente experimentando la aplicación, en el ámbito residencial, del sistema constructivo de placas macizas CLT, con la finalidad de reducir costos y tiempos de construcción, mejorando simultáneamente la calidad estructural y la eficacia energética de la vivienda.

Los antecedentes de esta investigación se fundamentan en la aplicación (en Chile) de un sistema en la Universidad de Bío-bío, donde se construyó la primera vivienda pasiva de Chile en la comunidad de San Pedro de la Paz con la tecnología CLT. La vivienda cuenta con una alta aislación térmica en la envolvente exterior, lo cual reduce al mínimo la implementación de sistemas tanto de calefacción como refrigeración. La estructura es completamente realizada en placas CLT de madera de pino.

El proyecto contempla basado en el uso de CLT en la comunidad objeto de estudio lo siguiente:

- Equipamiento comunitario y/o mejoramiento del entorno, a través de: mejoramiento en el terreno de copropiedad y obras de innovación de eficiencia energética.
- Mejoramiento de la vivienda con el uso de CLT mediante: habitabilidad de la vivienda (acondicionamiento); mejoramiento de la vivienda; mejoramiento de bienes comunes edificados; obras de innovación de eficiencia energética.
- Ampliación de la vivienda considerando el uso de CLT, a través de: proyecto de dormitorio; proyecto de lavadero; proyecto de estar comedor; proyecto de baño o cocina y proyecto de ampliación de dormitorio.

La consideración del uso de CLT en este proyecto es porque es un sistema de construcción de viviendas compuesto de placas de madera macizas contra laminadas y que, por sus potencialidades para solventar problemáticas relacionadas con la resistencia al fuego, resistencia térmica, aislante acústico, resistencias mecánicas ante movimientos sísmicos, se considera como el hormigón del futuro.

La industria de la madera laminada cruzada (CLT)

La industria de CLT, a nivel global tiene plantas de fabricación en los cinco continentes habitables, lo que evidencia un significativo interés comercial mundial en este producto forestal maderable. Sin embargo, a pesar de la presencia mundial de este producto maderero masivo, la gran parte de los productores están concentrados en el hemisferio norte, no obstante, están dispuestos a atender los mercados internacionales y a la demanda mundial (De Araujo & Christoforo, 2023).

La madera contralaminada es procesada con elementos industrializados utilizados en la elaboración (modular) de módulos parciales a terminados y la prefabricación de pisos, techos, paredes y paredes cortas y escaleras. Una

de sus características más importantes es su peso ligero (van de Kuilen, et al., 2011).

La madera laminada cruzada (CLT) es un producto muy apropiado para edificios de varias plantas vista su versatilidad. Con longitudes de hasta 16 metros y posibilidad de ampliación con juntas mecánicas o uniones encoladas, anchos de hasta 2,5 metros según fabricante y espesores de hasta 500 mm, actualmente se puede encontrar en el mercado casi cualquier forma necesaria. Los desarrollos siguen siendo rápidos y las nuevas aplicaciones están lejos de agotarse. Una de estas nuevas posibilidades es el uso de elementos CLT en combinación con un núcleo de hormigón y estabilizadores estructurales en edificios muy altos, un rascacielos de madera y hormigón. CLT ya ha demostrado ser muy eficiente en edificios de varios pisos hasta 10 pisos (van de Kuilen, et al., 2011).

CLT es capaz de presentar un mejor comportamiento al fuego en muros de carga que las losas estructurales, estando influenciado por el espesor y el número de capas. La construcción de madera laminada encolada ofrece una alternativa más sostenible al hormigón armado prefabricado, debido a la reducción de las emisiones y al aumento del secuestro de dióxido de carbono (De Araujo & Christoforo, 2023). Los edificios basados en CLT pueden producir un 27 % menos de emisiones potenciales de calentamiento global que los edificios de hormigón, en la medida en que este panel de madera de ingeniería podría reducir significativamente la energía incorporada en un 40 %, debido al uso de madera maciza (Pierobon, et al., 2021).

Con respecto a la industria de la construcción convencional de hormigón, hierro y acero, además del carbono operativo, el impacto de la industria de la construcción depende de los materiales de construcción, junto con su transporte, fabricación y eliminación o reutilización al final de su vida útil (carbono incorporado).

Con convenientes ventajas estructurales y sostenibles, los productos CLT se han utilizado cada vez más en edificios industrializados. Esto fue anunciado por la FAO/ONU, ya que la capacidad de producción global fue de unos tres millones de metros cúbicos de madera contralaminada en 2020, con la posibilidad de un aumento en el corto plazo (FAO/UN, 2021).

En el campo de la construcción en madera, sus productos industrializados varían desde ejemplos simplificados y semielaborados dependientes de procesamiento adicional hasta módulos terminados, del tipo llave en mano, listos para ensamblar en el sitio. En los sistemas de construcción industrializados, el proceso de transferencia de funciones y recursos de producción se desarrolla hacia una industria más estacionaria para una producción basada en sistemas descentralizados (Koppelhuber, et al., 2017). En la práctica, un edificio industrializado se desarrolla sustancialmente en plantas de fabricación, en la medida en que las partes prefabricadas se envían en kits o módulos (semi) terminados a sitios de construcción múltiples o únicos. La prefabricación intensiva de plantas puede causar impactos sustanciales en el rendimiento de la producción a gran escala de los sistemas de construcción de madera, ya que permite lograr niveles eficientes de repetibilidad y confiabilidad (Koppelhuber, et al., 2017).

La demanda actual del atractivo masivo de la madera va acompañada de varios factores económicos clave, además de la cuestión de los componentes técnicos estandarizados del sistema, que brindan estabilidad a largo plazo en cuanto a costos, calidad constante, optimización de la gestión de la construcción y sostenibilidad (Koppelhuber, et al., 2017).

La prefabricación superior naturalmente exige plantas industriales destinadas a fabricar un producto de ingeniería intensiva en una línea de producción, provista de aberturas y espacios para marcos e instalaciones empotradas, adecuadas para fijaciones y ensamblajes rápidos en el sitio de construcción (Amorim, Mantilla, & Carrasco , 2017).

Los paneles de madera contralaminada (CLT) están conformados por capas de madera colocadas ortogonalmente de gran tamaño fusionadas con adhesivo estructural a alta presión. El sistema de laminación cruzada posibilita que el CLT actúe como un elemento estructural rígido y autoportante. Igualmente, son aislantes térmicos y acústicos y tienen una óptima resistencia en situaciones de incendio. Son utilizados como elementos estructurales y de cierre en construcciones de varias plantas y este sistema constructivo puede ser considerado como el más sostenible, lo que genera un menor impacto a la naturaleza, comparado con las soluciones tradicionales. La madera es un

recurso natural renovable y al utilizarse en la construcción juega un papel significativo para el medio ambiente: almacena CO₂ y utiliza poca energía para su fabricación y aplicación en comparación con los materiales convencionales utilizados en la construcción como el acero, el hormigón y el aluminio. En el diseño de estas estructuras aún no existe un enfoque analítico universalmente aceptado por parte de los diseñadores y fabricantes de CLT (Amorim, et al., 2017)

Referente a la fijación, las conexiones de los componentes pueden precisar el uso de clavos, espigas, tornillos y otros conectores metálicos, galvanizados o aluminizados, permitiendo comportamientos más eficientes frente a las cargas laterales. En la etapa de ensamblaje, todos los productos de madera de ingeniería (p. ej., paneles CLT, vigas de madera laminada encolada, etc.) son movilizadas por camiones, desde las plantas de fabricación hasta el terreno donde se encuentra el sitio de construcción para que los insumos son trasladados por grúas a las posiciones de instalación y/o fusión. La variedad de opciones industrializadas en el mercado es compleja y extensa, ya que muchos productores ya han vendido sus propios sistemas de construcción desarrollados a partir de sus productos de madera de ingeniería para satisfacer a los clientes, necesidades y limitaciones (Koppelhuber, et añ., 2017).

Estas soluciones usualmente combinan conceptos arquitectónicos, estilos complejos y materias primas diversificadas, ya que una solución moderna puede prefabricarse a gran escala, ya sea en forma estandarizada o personalizada, aprovechando las distintas resistencias, densidades, texturas, formas y colores de la madera. La madera contralaminada cruzada, es un producto de madera maciza integrada por diferentes capas de tabloncillos dispuestos en dos direcciones a 90° capa por capa, optimizando su comportamiento estructural (ver Figura 1).

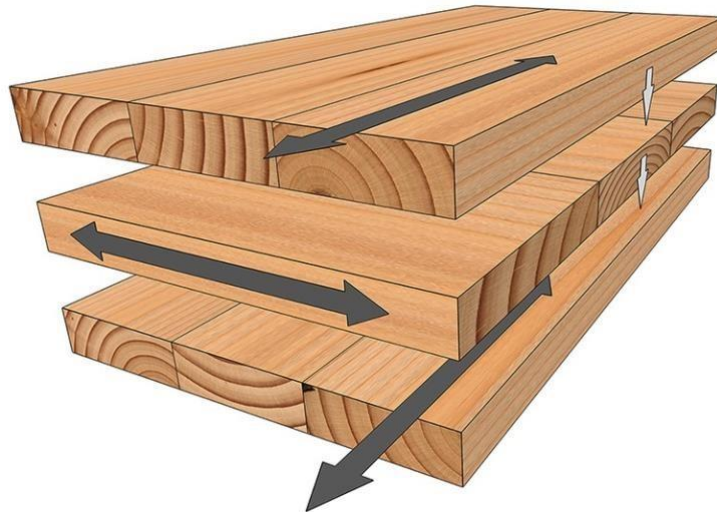


Ilustración 1. Composición de panel CLT

Proceso de producción de Paneles de Madera contralaminada CLT

A continuación, se presenta un proceso estandarizado para la producción de Paneles de Madera contralaminada CLT, teniendo como referencia el manual American Handbook de FP innovations, Canadian CLT Handbook: **Paso 1:** seleccionar la especie maderable: hay muchas especies maderables para la elaboración de este producto. Sin embargo, a efectos de gestión de costos y de disponibilidad de la materia prima, es aconsejables el uso de maderas endémicas, preferentemente las provenientes del pino de plantaciones industriales, esto con la finalidad de minimizar el efecto de extracción maderable de bosques primarios protectores del ambiente debido a sus servicios ecosistémicos. La especie preferida a estos efectos es el pino en sus diferentes variaciones, pues el pino puede ser utilizado en una capa exterior para suministrar un acabado de alta calidad a los paneles expuestos. **Paso 2:** Secado de la madera, de los tableros obtenidos y cepillados de la madera seleccionada, entre 12 y 45 mm de espesor secados al horno (secados a sombra y acondicionados hasta un contenido de humedad (CH) de 12% +/- 2%.

Paso 3: Calificación visual, pues la calidad de la superficie está definida por su apariencia superficial. En este sentido, existen tres grados diferentes:

- Visible residencial: cepillado y lijado.
- Industrial Visible - cepillado y ligeramente lijado.
- No visible – cepillado.

Paso 4: Eliminación de defectos de los tableros, de acuerdo a la resistencia y calidad visual final, son recortados defectos como nudos grandes y bolsas de resina o corteza.

Paso 5: Láminas 'sin fin', los tableros individuales pueden unirse para formar, en principio, una laminilla (capa) sin fin utilizando juntas dentadas para unir los tableros. A continuación, las laminillas se cepillan hasta un espesor uniforme. (Ensamblaje de capas: algunos fabricantes ensamblan capas o placas individuales en este punto, antes de formar el panel. Las capas se ensamblan uniéndolas a lo largo de los bordes de cada lámina hasta las dimensiones deseadas. Luego, los paneles se construyen a partir de estas capas individuales).

Paso 6: Montaje de los paneles. Las dimensiones de los paneles varían según el fabricante y la aplicación, los paneles CLT se pueden fabricar en 3, 5, 7 o más capas de tablero con anchos típicos de 0,5 m, 1,2 m y 3 m y longitudes de hasta 18 m. El transporte por camión es el último factor limitante con respecto a las medidas de los paneles fabricados. Usualmente se fabrican paneles de hasta 300 mm de espesor, pero se desconocen dimensiones mayores. Las capas exteriores de los paneles corrientemente están orientadas para correr paralelas a la dirección del tramo. En otras palabras, para paredes que están normalmente orientadas. Las capas exteriores de los paneles CLT tienen la dirección de la fibra paralela a las cargas verticales para maximizar la resistencia. Asimismo, para los paneles CLT de piso y techo, las capas exteriores corren paralelas a la dirección del tramo. Las tiras de láminas se extienden con adhesivo y luego se adhieren perpendicularmente a las láminas de la capa adyacente. La adherencia efectiva es garantizada a través del uso de técnicas de vacío o prensa hidráulica. Finalmente, el panel CLT terminado se recorta a lo largo de los bordes.

Paso 7: Terminación del proceso: Finalmente, el conjunto completo se cepilla y/o lija antes de transferirlo a una estación de mecanizado donde una máquina multieje corta aberturas para ventanas y puertas en las paredes y aberturas para escaleras en los pisos (GreenSpec, 2023).

Otra parte importante del proceso de producción de paneles CLT es el agregado de los Adhesivos. El adhesivo para la unión de superficies es aplicado fundamentalmente por vía mecánica y sin contacto, bien sea a través de (i) láminas individuales en un dispositivo de alimentación continua o (ii) en capas completas de CLT ya colocadas en un lecho de posicionamiento o prensa.

Cronológicamente, han sido utilizados un sinnúmero de pegamentos para unir madera en la ingeniería, especialmente en la construcción. El mayor desarrollo inicial fue el de las resinas impermeables de fenol-resorcinolformaldehído (PRF) en la década de 1940, lo cual permitió que la madera de ingeniería se usara en ambientes externos sin amenaza de degradación. En el año 1994 se introdujo por parte de la corporación Purbond AG los primeros adhesivos PUR (poliuretano de un componente) comercialmente exitosos. Desde entonces, otros fabricantes han producido suficientes tipos de PUR como para dominar el mercado de adhesivos. El desarrollo de PUR fue importante debido a una serie de ventajas significativas sobre los adhesivos anteriores:

- Un componente: sin mezclar y fácil de manejar.
- Sin emisión de gases de compuestos orgánicos volátiles (COV), incluido el formaldehído.
- Contenido sólido sin disolventes.
- Menor tiempo de procesamiento como resultado de una unión rápida y un tiempo de prensado reducido.

Posteriormente, en la década de 1970, fue introducida la melamina-ureaformaldehído (MUF), que mejoró las resinas PRF, pero se hizo conocida por formar líneas de unión muy frágiles (GreenSpec, 2023).

Beneficios, ventajas y riesgos de la construcción de viviendas con Paneles de Madera contralaminada CLT

En virtud de que las actividades de la industria de la construcción representan cerca del 40% de las emisiones globales de carbono atmosférico, uno de los principales propulsores del cambio climático inducido por las actividades humanas, los diseñadores, constructores y otras partes interesadas de la industria están aunando sus esfuerzos para cooperar en la reducción de su huella ambiental a través de la incorporación e integración de materiales renovables y con un diseño sostenible en sus proyectos de construcción (Moore, 2022).

La madera contralaminada (CLT), actualmente emerge como un material de elección popular para estructuras residenciales y comerciales en países como los Estados Unidos. Originalmente la CLT fue desarrollado en Europa en la década de 1990, CLT es un producto de madera hecho de varias capas de madera de grado estructural colocados transversalmente y pegados entre sí. Este producto es único porque tiene una relación resistencia-peso comparable al hormigón, a pesar de ser cinco veces más ligero. Desde 2015, cuando CLT se incorporó por primera vez al Código Internacional de Construcción de los Estados Unidos, el material se ha utilizado como una alternativa sostenible para formar paredes, techos, pisos e incluso techos (Moore, 2022). La CTL presenta varias ventajas comparadas con otros materiales utilizados en la construcción, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Almacenamiento de carbono:
La comunidad científica mundial está de acuerdo en que las emisiones de gases de efecto invernadero de las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles para obtener energía, han apresurado el calentamiento global durante el último siglo. La fabricación de materiales de construcción constituye el 11 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, y la producción de una tonelada de cemento genera la emisión de aproximadamente una tonelada de dióxido de carbono, el gas de efecto invernadero más abundante en la atmósfera terrestres. En virtud de que CLT está hecho

de madera, puede almacenar carbono durante la vida útil del edificio e incluso capturar carbono adicional (Moore, 2022).

La madera no consume tanta energía como el acero y el hormigón, lo que significa que el proceso de fabricación de CLT emite menos carbono. Además, cuando la madera se extrae de bosques gestionados de forma sostenible, CLT crea un ciclo circular de carbono. Los bosques actúan como sumideros de carbono: los árboles eliminan el dióxido de carbono de la atmósfera y lo transforman en madera a través de la fotosíntesis. Cuando los árboles se cortan y se usan para construir edificios, continúan almacenando carbono en la estructura.

- **Sostenibilidad ambiental:**
La madera es un material totalmente renovable, biodegradable y muy fácil de reciclar, del mismo modo el proceso de producción del CLT es llevado a cabo con madera procedente de bosques de plantaciones forestales debidamente certificados y controlados, garantizando su sostenibilidad. Por tanto, Si un propietario planta uno o dos árboles nuevos por cada árbol cortado, el nuevo crecimiento inicia otro ciclo de secuestro de carbono que durará hasta que los árboles sean cosechados e incorporados a una estructura como paneles CLT (Gupo SIERO, Principado de Asturias, & Fondo Europeo de Desarrollo Regional, 2023).
- **Resistencia al fuego:**
Un estudio de 2019 publicado en la revista Wood and Fibre Science descubrió que una estructura CLT podía soportar más de 90 minutos de combustión antes de colapsar. En comparación, una casa con estructura de madera de un solo piso se derrumbó después de solo 17 minutos. CLT actúa como un tronco grande en una fogata, con los paneles gruesos ardiendo lo suficientemente lento como para que los edificios permanezcan estructuralmente estables durante períodos prolongados cuando son expuestos al fuego. A medida que la superficie de un panel CLT se expone al fuego, se convierte en una capa negra de carbón, la cual actúa como aislante, protegiendo el núcleo no quemado del panel de experimentar un aumento excesivo de la

temperatura. Se puede agregar protección extra contra incendios encapsulando CLT con una capa protectora de paneles de yeso, como se requiere para cumplir con los requisitos del código de construcción para estructuras de madera más altas (Moore, 2022).

- Resistencia estructural:
CLT es un material de construcción estructuralmente sólido, compacto y altamente duradero y resistente, con una potencial de carga semejante a la del acero y el hormigón (Gupo SIERO, Principado de Asturias, & Fondo Europeo de Desarrollo Regional, 2023).
- Durabilidad sísmica:
El comportamiento antisísmico de un edificio está vinculado con la resistencia y el peso de los materiales de construcción. CLT es un material fuerte, resistente y liviano con buen desempeño en caso de un terremoto, debido a su estructura liviana, es poco factible que una estructura de CLT sea derribada tanto sobre los habitantes durante un terremoto en comparación con las estructuras hechas totalmente de acero u hormigón. Si bien CLT puede facilitar un rendimiento sísmico mejorado, los arquitectos suelen utilizar una combinación de materiales para cumplir con los requisitos de seguridad (Moore, 2022).
- Instalación más rápida, con eficiencia constructiva:
CLT es fabricado en forma de paneles prefabricados y es instalado en el sitio de construcción en breve tiempo, reduciendo los plazos de construcción y los costos asociados. En tal sentido, a diferencia del hormigón y otros materiales de construcción convencionales, los paneles CLT pueden prefabricarse en una planta de fabricación externa y posteriormente ser instalados en menos tiempo porque se necesitan menos juntas entre los elementos de soporte interiores. El proceso de instalación de hormigón requiere encofrado, apuntalamiento y refuerzo con barras de refuerzo de acero. Con CLT, por otro lado, un equipo de construcción puede colocar los paneles prefabricados en su lugar, colocar los conectores y luego unir los componentes (Gupo SIERO, Principado de Asturias, & Fondo Europeo de Desarrollo Regional, 2023; Moore, 2022).

- **Generación de empleos:**
Mediante el uso de CLT, la industria de la construcción puede respaldar puestos de trabajo en las instalaciones de fabricación locales. Los paneles CLT se pueden fabricar a partir de una variedad de especies de árboles que se encuentran en bosques de propiedad privada como las oficiales, algunos de los cuales se gestionan para la producción de madera. Cosechados los árboles. Son transportados a los aserraderos locales y a las instalaciones de fabricación para su procesamiento. Simultáneamente, los bosques aprovechados se replantan para cerrar el ciclo de sostenibilidad. Sin embargo, el acero como el hormigón pueden o ser importados o remitidos desde y hasta largas distancias, mientras que la madera puede o debe provenir de una planta de fabricación cercana al lugar de la construcción, todos estos aspectos, generan oportunidades laborales potenciales, un factor clave para mantener un crecimiento económico sostenible y saludable (Moore, 2022).
- **Aislamiento térmico y acústico:**
A nivel general, la madera es un óptimo aislante tanto térmico como acústico, por tanto, las edificaciones que han sido construidas con CLT tienen una alta eficiencia en materia energética y además son mucho más silenciosos (Gupo SIERO, Principado de Asturias, & Fondo Europeo de Desarrollo Regional, 2023).
- **Estética:**
CLT tiene un aspecto natural y cálido, convirtiéndolo así, en un material para la construcción de edificaciones muy popular entre los constructores, arquitectos, diseñadores y usuarios. A modo de resumen, este material se ha convertido en una alternativa para la construcción sostenible, resistente, eficaz y estéticamente atractiva y seductora que actualmente gana más protagonismo a nivel mundial (Gupo SIERO, Principado de Asturias, & Fondo Europeo de Desarrollo Regional, 2023). (Ver figura 2)



Ilustración 2. Construcción en CTL

Fuente: (Gupo SIERO, Principado de Asturias, & Fondo Europeo de Desarrollo Regional, 2023)

Comparativo de materiales utilizados en muros divisorios

Para entender el impacto y las ventajas de utilizar paneles de madera contralaminada (CLT) en la construcción, es esencial compararlos con otros materiales comúnmente utilizados en muros divisorios. A continuación, se presenta un cuadro comparativo que evalúa diferentes tipos de muros, como mampostería, drywall y plástico, en términos de sus materiales, unidad de modulación y peso.

Tabla 1. Cuadro comparativo de muros divisorios

No	Clase de muro divisorio	Materiales empleados	Unidad de modulación	Peso
1	Muros divisorios en mampostería	Cemento Arena Ladrillo Agua Estuco	Bloque No. 4 de 10x20x30	Peso 2,85 kg.

2	Muros divisorios en Drywal	Silicona blanca (sika flex) Cinta malla Cinta Papel Dilatadores de Pared Lija Llana Metálica Estuco Pintura tipo II	Lámina de Drywall 1.22X2.44 - E 1/2	Peso 20 kg.
3	Muros divisorios en plástico	Tornillo de 5" auto perforante Madera aserrada	Ecobloque de 25X12.5X12.5	Peso 33 kg.
4	Muros divisorios en madera	Tornillo auto perforante de 2" a 5" Barniz Laca	Módulo de 60cm. X 2.2	Peso 5.5 kg.
5	Paneles CLT con especies maderables del cantón Naranjal (Eco material AJ-N2023)	Especies maderables del cantón Naranjal (Bambú, Fernán Sánchez, Balsa) Pegantes, inmunizante.	Módulo de 50cmx50cm.	Peso 5,26 kg,

Fuente: (Mur & Silva, 2020)

Costos de muros por m²

Además de las propiedades físicas y mecánicas, la viabilidad económica es un factor crucial en la selección de materiales para la construcción. El siguiente cuadro ofrece una comparativa de los costos asociados con la construcción de muros utilizando diferentes materiales, incluido el CLT, por metro cuadrado.

Tabla 2. Comparación de los costos de muros por m²

Material	Valor UN	Valor M2
Steel framing - dobla cara	\$250.00	\$45.00
Placa Fibrocemento	\$325.00	\$68.00
Mampostería Bloque No. 6	\$125.00	\$42.00
Madera	\$45.25	\$15.60
Paneles CLT (Ecomateriales)	\$74.42	\$25.00

Fuente: Elaboración propia

Características de la madera para la elaboración de Paneles de Madera contralaminada CLT

Los productos CLT genéricos usualmente consisten en un número impar de capas de madera o paneles compuestos estructurales apilados transversalmente mediante la aplicación de adhesivos estructurales, como fenol-resorcinol formaldehído (PRF), isocianato de polímero en emulsión (EPI), melamina formaldehído (MF), poliuretano de un componente (PUR), etc. En algunos estándares de productos CLT, se requiere que la madera tenga un grosor de 6 a 45 mm, un ancho de 40 a 300 mm y una relación ancho-espesor superior a 4. Para CLT de tres capas, el grosor de la capa transversal varía de 6 a 60 mm (European Committee for Standardization, 2015).

Los paneles compuestos estructurales utilizados como capa en CLT incluyen madera de chapa laminada (LVL), madera de fibra laminada (LSL), tablero de fibra orientada (OSB), etc. En oportunidades especiales, las capas adyacentes de CLT se pueden ensamblar en la misma dirección. Por ejemplo, las capas más externas de un CLT de 5 capas se pueden colocar sucesivamente con dos capas paralelas (European Committee for Standardization, 2015). Del mismo modo, algunas capas de CLT se pegan en un ángulo de 45 grados entre capas adyacentes (Dietrich, Wang, Olle, & et al., 2016).

Considerando el costo y la deformación transversal de la madera, CLT no puede aplicar adhesivo entre los bordes de las laminaciones en la misma capa. Si no se aplica adhesivo, el ancho del espacio entre las láminas no debe exceder los 6 mm (European Committee for Standardization, 2015). La misma fuente señala que, el CLT presurizado al vacío tiene alivio de tensión para liberar el estrés y reducir la deformación por alabeo del panel CLT. Sin embargo, la existencia de espacios tiene efectos adversos en las propiedades mecánicas de CLT (como propiedades de corte por rodadura), propiedades físicas del edificio (aislamiento acústico, protección contra incendios y

propiedades de aislamiento térmico), propiedades de conexión y apariencia del producto, etc.

La ortogonalidad de CLT también provoca la falla por corte rodante de las capas transversales, que es el modo de falla clave y principal cuando el elemento CLT se carga con cargas fuera del plano. El corte por rodadura, o llamado corte plano, generalmente se refiere al comportamiento de la deformación por corte que ocurre en las capas transversales. Las grietas se iniciarán y propagarán a lo largo de las zonas débiles en el plano radialtangencial (RT) de la capa transversal de madera, lo que resultará en propiedades de baja resistencia a la flexión y al corte. Estas zonas débiles incluyen el límite de madera temprana/madera tardía y los radios de madera. Las propiedades de corte por rodadura de la madera son más bajas que las paralelas a la fibra de la madera. Para la madera en general o el grupo de madera utilizado en CLT, como la madera de abeto de píceas (SPF), Douglas Fir-L y Hem-Fir, el valor supuesto de laminado módulo de corte es de sólo 50 MPa. Las propiedades de cizallamiento por rodadura son muy importantes en el diseño de productos CLT, que es el factor clave en el diseño de paneles de piso y techo CLT (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

En cuanto a las propiedades de cizallamiento por rodadura de CLT, recientemente se ha investigado especialmente las propiedades de corte por rodadura de CLT en dos aspectos: el método de evaluación y los factores de influencia de las propiedades de corte por rodadura de CLT. Los métodos de prueba utilizados para el rendimiento de corte por rodadura se dividen principalmente en dos categorías: enfoques de prueba de corte por compresión y corte por flexión. Los factores de influencia de las propiedades de corte por rodadura de CLT incluyen: i) los tipos de material de la capa (madera blanda, madera dura y paneles a base de madera, etc.); ii) las características macroscópicas de la madera aserrada (orientación del anillo de crecimiento y madera temprana o tardía, etc.); iii) la tecnología de procesamiento (presión y encolado de bordes, etc.) y; iv) características geométricas de CLT (Wang & Yin, 2021).

Referente a los tipos de materiales de capa de los CLT, actualmente están hechos principalmente de madera blanda, como el pino de abeto, píceas de

Noruega y otras maderas blandas. Sin embargo, debido al bajo módulo de cizallamiento por rodadura y la resistencia de la madera blanda, el desarrollo y la utilización de paneles compuestos de madera dura y de madera estructural con altas propiedades de cizallamiento por rodadura para producir CLT se ha convertido en uno de los principales focos de investigación de CLT (Wang & Yin, 2021).

Las propiedades de algunas maderas duras son más altas que las de las maderas blandas genéricas. En dos oportunidades Aicher, Christian, & Hirsch (2016), Aicher, Hirsch, & Christian (2016), estudiaron la viabilidad de utilizar madera de haya europea (*Fagus sylvatica*) como capa transversal en CLT. Probaron las propiedades de corte por rodadura de la madera de haya europea mediante el método de corte por compresión y encontraron la resistencia al corte por rodadura y de madera de haya europea superan el valor característico respectivo para la madera blanda por factores de 5 y 7 aproximadamente. El haya (*Fagus sylvatica*) se ha investigado con respecto a la flexión fuera del plano. Las nuevas investigaciones revelan el gran potencial de las acumulaciones mixtas de CLT de madera blanda y madera dura para elementos estructurales en el sector de la construcción. Posteriormente se evaluó las propiedades de corte por rodadura de madera de frondosas cruzadas en HCLT. Las especies de madera probadas fueron abeto (*Picea mariana*), álamo temblón (*Populus tremuloides*), abedul blanco (*Betula papyrifera*) y abedul amarillo (*Betula alleghaniensis*). Con base en sus resultados experimentales, se encontró que las maderas duras (álamo temblón y abedul) exhibían una mayor resistencia a los esfuerzos cortantes de rodadura que las maderas blandas (abeto) (Gong, Tu, & Li, 2015).

Ehrhart & Brandner (2018) investigaron sobre las propiedades de corte por rodadura de algunas maderas duras y blandas. También encontraron que las maderas duras, como el abedul (*Betula pendula* Roth), la haya (*Fagus sylvatica* L.), el álamo (*Populus* spp.), el fresno (*Fraxinus excelsior* L.), tenían propiedades de corte por rodadura más altas que las de la madera blanda. Otros investigadores igualmente han estudiado las propiedades de cizallamiento por rodadura de la madera local, la madera de crecimiento rápido y los paneles a base de madera para evaluar la aplicación potencial de

estos materiales en CLT. En este sentido se evaluó las propiedades de cizallamiento por rodadura del álamo de rápido crecimiento normal y modificado (*Populus tomentosa* Carr) modificado por compresión perpendicular a la fibra e impregnado con fenol-formaldehído (PF) resina. Los resultados mostraron que el valor característico del módulo de cizallamiento por rodadura y la resistencia del álamo normal de rápido crecimiento fueron 177 MPa y 2,24 MPa, respectivamente, que son mucho más altos que las propiedades del pino de abeto, lo que indica que el álamo de rápido crecimiento se puede utilizar como capa transversal en CLT (Wang, Fu, Luo, & et al., 2016; Wang, Fu, Chui, & et al, 2014).

Características esenciales del CLT según la Norma UNE-EN 16351

Esta norma europea contempla los requerimientos que corresponden a las características de prestación de los siguientes tipos de CLT a ser usadas en puentes y edificios:

Tipo 1: CLT recta o curva, compuesta exclusivamente por capas de madera y sin empalmes por unión macrodentada de los siguientes tipos, conforme a los sucesivos requisitos sobre:

- Las circunstancias límite durante la producción de CLT.
- El contenido de humedad y temperatura de la madera a encolar.
- La producción de empalmes por unión dentada y el encolado entre capas.
- Destinada al uso en las clases de servicio 1 o 2 conforme a la Norma EN 1995-1-1.
- Hecha con especies maderables coníferas o chopo.
- Elaborada por capas de distintas especies.
- Encolada con adhesivos fenólicos o aminoplástico o en su defecto con adhesivos de poliuretano monocomponentes de curado en húmedo o con adhesivos a base de isocianato y polímeros en emulsión de Tipo 1.
- Compuesta por láminas de madera con un ancho nominal comprendido entre 40 mm (incluidos) y 300 mm (incluidos).

- Compuesta por lo menos por tres capas encoladas perpendicularmente (siendo por lo menos dos de ellas capas de madera).
- que incluya en función del número de capas, capas contiguas a encolarse en dirección paralela a la fibra;
- que incluye capas compuestas por madera clasificada según su resistencia de acuerdo a la Norma EN 14081-1-Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales.
- que incluye capas de madera de gruesos comprendidos 6 mm y 47 mm (ambos incluidos).
- compuesta por capas de madera que pueden estar encoladas por sus cantos.
- con espesores totales nominales menores o iguales a 500 mm. **Tipo 2:** CLT recta, compuesta exclusivamente por capas de madera que incluyen empalmes por unión macrodentada de la siguiente manera:
- Compuesta por elementos CLT de la misma sección transversal y de la misma distribución.
- Formada por componente de CLT con espesores de la sección transversal comprendidos entre 51 mm y 345 mm y espesores mínimos de las capas exteriores superiores o iguales a 17 mm.
- Compuesta por elementos de CLT que incluyan únicamente capas de madera.
- Formada por componente de CLT planos con ejes x de los componentes empalmados, paralelos.
- Con uniones macrodentadas de una de una longitud mínima de 45 mm y con dentados visibles en las dos caras menores de los elementos.
- Que tenga uniones macrodentadas pegadas con adhesivos fenólicos o aminoplásticos o en su defecto con adhesivos de poliuretano monocomponentes de curado en húmedo de Tipo 1 de acuerdo a la norma correspondiente.

Tipo 3: CLT recta, compuesta por capas de madera y capas de tableros procedentes de madera y sin empalmes por unión macrodentada de la siguiente forma:

- Formada por tableros procedentes de la madera de utilización estructural contempladas en esta Norma.
- Compuesta con un tablero por capa; con un espesor comprendido entre 6 mm y 45 mm (ambos incluidos) (Asociación Española de Normalización, 2021).

Propiedades mecánicas de la madera y su comportamiento sujeto a tensión y a compresión

De acuerdo al Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (2000), las propiedades mecánicas de la madera dependen considerablemente del tipo de humedad y la orientación de las fibras. Cualquier alteración en la madera disminuye su resistencia, duración o utilidad, como por ejemplo la presencia de nudos, fisuras, desprendimiento, podredumbre, grano transversal entre otras.

El comportamiento o capacidad de la madera que está sujeta a tensión es muy elevada y depende de la formación e inclinación de la fibra. Cuando esta tensión es completamente paralela a la fibra, la madera desplegará el 100% de su capacidad, pero cuando la tensión es perpendicular a las fibras su resistencia es tácitamente cero. Aun cuando la resistencia a la tensión de la madera sea muy alta, no puede usarse indudablemente en miembros estructurales, en virtud de su poca resistencia al esfuerzo cortante, el cual origina la falla en las conexiones de los extremos que usan conectadores de pernos o placas antes de que su verdadera resistencia a la tensión de un miembro pueda desarrollarse.

En cuanto a la madera sujeta a compresión, esta exhibe un comportamiento muy característico, en otras palabras, no es un material isótropico, y se forma de células desarrolladas por crecimientos orgánicos que se ordenan para constituir una sucesión de tubos o columnas en la misma dirección de las fibras. Como consecuencia de esta estructura, el límite elástico es

limitadamente bajo, no hay un punto de cedencia determinado y se comprueba una deformación continua importante antes de la falla. Estas características varían de acuerdo a la alineación de la carga con relación a la disposición de las fibras. Para cargas normales al grano, la carga que origina el inconveniente lateral de los tubos o fibras (aplastamiento) es la carga significativa. Para cargas paralelas a las fibras, importan la resistencia elástica y la resistencia de ruptura. La ruptura usualmente sucede por el colapso de las fibras tubulares como columnas. En este orden de ideas, es importante considerar adicionalmente el comportamiento de la madera sujeta a corte, pues esta observa poca resistencia al esfuerzo cortante, especialmente en las conexiones con otros componentes, por lo que en lo relativo a esfuerzos directos, el ensayo de compresión de la madera es de mayor trascendencia práctica que el de tensión o de corte (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas , 2000).

La Industria maderera en Ecuador

En Ecuador, la industria de procesamiento de madera está dividida según el nivel de procesamiento. La materia prima se obtiene de dos fuentes Bosques Nativos y Plantaciones Forestales. La transformación industrial se lleva a cabo a través de dos tipos de industrias: Industria Primaria (integrada por aserrío, celulosa y tableros) e Industria Secundaria (integrada por industria fabricantes de muebles, pisos, materiales e construcción, puertas, molduras, ventanas y otras). La comercialización de los productos es tanto nacional como internacional (Corporación Financiera Nacional, 2017).

Para el ejercicio fiscal terminado al 31-12-2020, mediante un avance equivalente al 74.5% de empresas del sector que declararon sus balances a la Superintendencia de Compañías, 197 empresas dedicadas a la silvicultura y extracción de madera, las cuales se encuentran ubicadas especialmente en la provincia del Guayas (53%). Estas empresas del sector generaron 2.304 puestos de trabajo, de las cuales el 49% perteneció al grupo de grandes empresas (Corporación Financiera Nacional, 2021).

El sector de silvicultura, extracción de madera y actividades afines sumó cerca de \$694.95 MM en el año 2020, equivalente a una participación sobre el PIB del 1.05%. Sin embargo, este valor fue un 6.8% inferior comparado con los resultados del 2019. Es importante resaltar que, la balanza comercial del sector evidenció un superávit en el periodo 2016 y 2020, las exportaciones del sector en promedio superaron en 73 veces a las importaciones, indicando que el sector satisface la demanda interna y suministra recursos fuera de las fronteras nacionales. El sector de silvicultura y extracción de madera durante el año 2020 incrementó en un 10% sus ingresos por ventas y exportaciones (Corporación Financiera Nacional, 2021).

MARCO METODOLÓGICO

Enfoque, tipo y diseño de la investigación

La presente investigación se realiza desde un enfoque cuantitativo y de tipo descriptivo, empleando un diseño de campo. La finalidad es cuantificar y describir el volumen de madera producido bajo la tecnología CLT en la provincia de Guayas, enfocándose especialmente en el cantón Naranjal. Se abordarán procesos de producción, logística y aprovisionamiento de materia prima, a través de datos generados por los empresarios en sus sitios de acopio.

Recolección de la información

La recolección de la información se realizará en dos etapas:

1. Revisión Documental: Extracción de datos informativos de fuentes fiables y rigurosas, incluyendo bases de datos en línea y literatura gris

de entidades productivas y académicas relacionadas con el objeto de estudio.

2. Investigación de Campo: Identificación y localización de productores, proveedores y comercializadores significativos en el sector maderero en la ciudad de Guayaquil (Cantón Naranjal) o en la provincia de Guayas. Se llevará a cabo una selección no probabilística de la muestra para determinar el volumen de producción de madera CLT en la industria de la construcción. Los métodos incluirán:

- Búsqueda en la red sobre posibles puntos a visitar.
- Selección y descarte basados en la actividad del sitio.
- Coordinación de citas mediante llamadas telefónicas.
- Recolección de información in situ en los sitios preseleccionados.

Fase 1. Producción de paneles

Paso 1.- Selección de la especie maderable

Las especies de maderas elegidas para la elaboración de las probetas de CLT (Madera Laminada Cruzada) se seleccionarán considerando diversos factores, tales como su crecimiento, densidad por kg/m^3 , nivel de riesgo y disponibilidad en el mercado. Entre las especies seleccionadas se encuentran el Fernán Sanchez, la balsa y el bambú. El Fernán Sanchez tiene un crecimiento que se equipara al de la balsa y el bambú, siendo estas las especies elegidas para la elaboración de las probetas de CLT.

La elección de maderas de alta densidad para la producción de laminados CLT es una estrategia clave que puede aportar notables ventajas a los proyectos de construcción. La densidad de la madera tiene un efecto significativo en varios aspectos como la resistencia, durabilidad y eficiencia de una estructura. Optar por una madera de mayor densidad puede influir positivamente en la calidad general de un proyecto, y estas son algunas de las razones principales para elegir madera de alta densidad:

1. **Excelente Resistencia y Durabilidad:** La madera de alta densidad tiene una excepcional resistencia mecánica, lo que resulta en una alta capacidad de carga y mayor resistencia a tensiones y deformaciones estructurales. La selección de maderas de alta densidad asegura una base sólida para la construcción de edificios y estructuras resistentes y seguras.
2. **Resistencia Extendida:** La madera de alta densidad tiende a ser más resistente al desgaste y la putrefacción, prolongando significativamente la vida útil de los paneles CLT. Elegir madera de alta densidad es una inversión a largo plazo en la estructura, reduciendo las necesidades de mantenimiento y reparación.
3. **Estabilidad frente a Cambios Ambientales:** La madera de alta densidad ofrece mayor estabilidad dimensional, haciéndola menos sensible a los cambios de humedad y temperatura. Esta característica garantiza que los paneles CLT mantengan su integridad a lo largo del tiempo, minimizando el riesgo de deformaciones y grietas.
4. **Diseño Flexible:** La alta densidad de la madera otorga a los diseñadores y arquitectos la libertad de crear estructuras innovadoras y eficientes en términos de espacio. La capacidad de utilizar paneles CLT de mayor densidad facilita la construcción de diseños vanguardistas y audaces que cumplen con los requisitos estructurales y funcionales.
5. **Cumplimiento de Normas Estrictas:** En proyectos que requieren un cumplimiento riguroso de normas y reglamentos de seguridad, la selección de madera de alta densidad es crucial para asegurar que las estructuras cumplan con los estándares establecidos por las entidades gubernamentales locales e internacionales.

6. **Enfoque Sostenible:** Aunque las maderas de alta densidad pueden tener un costo inicial más elevado, su resistencia y durabilidad resultan en menos desperdicio y una menor necesidad de reemplazo con el tiempo. Esto conduce a una perspectiva más ecológica y sostenible en la industria de la construcción.

En conclusión, elegir madera de alta densidad para la producción de paneles CLT significa una inversión sólida en calidad, durabilidad y rendimiento a largo plazo. La colaboración con expertos en ingeniería y arquitectura permite a los profesionales tomar decisiones informadas que maximizan el potencial de sus proyectos y contribuyen a construir estructuras sólidas y duraderas.

En el anexo 1 se presenta la tabla de las maderas analizadas.

Paso 2.- Recolección de residuos

Para la recolección de residuos, se llevó a cabo un estudio de mercado utilizando la aplicación Google Maps. Esto permitió ofrecer una breve introducción a los aserraderos que comercializarían cualquiera de los tres tipos de madera seleccionados (Bambú o caña guadúa, Fernán Sanchez, Balsa). A partir de esta información, se trazó un recorrido eficiente para la recolección. La planificación cuidadosa de este proceso asegura un abastecimiento constante y adecuado de los materiales necesarios, apoyando la eficacia y sostenibilidad del proyecto en su totalidad.



Imagen 1. Recolección de Residuos en aserradero perteneciente a la Parroquia San Carlos del cantón Naranjal.

Paso 3.- Acopio de la madera

En esta etapa, se procedió a transportar la madera recolectada de los diferentes aserraderos visitados en el Cantón Naranjal hacia la fábrica de Ecomateriales, parte de las instalaciones de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil (UCSG).



Imagen 2. Madera apilada en laboratorio de Ecomateriales.

Paso 4.- Dimensionamiento de la madera

El dimensionamiento de la madera se llevó a cabo mediante el uso de una sierra circular. Se realizó un corte transversal cada 55 cm, seguido de un corte longitudinal de 10 cm de ancho, y finalmente, se les dio un espesor de 1,5 cm.



Imagen 3. Producto de la madera dimensionada (Fernán Sánchez, Balsa, Bambú).

Paso 5.- Cepillado de la madera

A través del uso de una cepilladora eléctrica, se procedió a cepillar la madera en una operación que se puede describir como “aplanar”. Este proceso implicó rebajar y alisar las tiras de madera para proporcionarles un mejor acabado.



Imagen 4. Cepilladora eléctrica, cada pieza tenía una dimensión de 10x55x1.5cm

Paso 6.- Encuadre de los fillos

A través del uso de una cepilladora eléctrica, se procedió a cepillar la madera en una operación que se puede describir como “aplanar”. Este proceso implicó rebajar y alisar las tiras de madera para proporcionarles un mejor acabado.



Imagen 5. Lija eléctrica en funcionamiento

Paso 7: Inmunización de la madera

En esta etapa, se eligió el producto adecuado para la inmunización, de manera que se aprovecharan las propiedades de la madera sin ser peligrosos en su uso. La inmunización con sal de bórax es un método eficaz para aumentar la

resistencia y durabilidad de los materiales, protegiendo la madera contra la degradación microbiana y los factores ambientales.

1. Preparación de la Solución: El proceso consiste en sumergir la madera durante al menos un minuto en una solución preservante compuesta por ácido bórico, borato de sodio (Bórax) y agua. Esta solución actúa como agente protector contra insectos, hongos y otros microorganismos. La preparación requiere precisión en las proporciones, midiendo la cantidad de bórax y ácido bórico según la siguiente fórmula:

- Bórax: Volumen del tanque * 0.036 (resultado en Kg)
- Ácido Bórico: Volumen del tanque * 0.024
- La mezcla debe ser en seco, y la disolución se realiza gradualmente, introduciendo el agua mientras se agita para obtener una disolución correcta.

Estos pasos detallan el meticuloso proceso de preparación y tratamiento de la madera, cada uno contribuyendo a la calidad y durabilidad del producto final. Los métodos y técnicas empleados reflejan un enfoque cuidadoso y sostenible en la producción de madera, garantizando un rendimiento óptimo en aplicaciones estructurales.



Imagen 6: Preparación de sales de boro.

2. Sumergir la Madera: La madera se sumerge en la solución preparada y se aplica peso encima debido a sus propiedades flotantes en el agua. Esto evita que la madera se eleve, asegurando una inmersión completa para una inmunización adecuada.



Imagen 7. Inmersión de madera en recipiente para su inmunización.

3. Retirar la Madera: La madera se retira del recipiente donde fue sumergida y se apila en forma de torre alternada, permitiendo el cruce de viento entre ellas. Esto facilita un pre-secado correcto.



Imagen 8. Madera sumergida apilada

Paso 8.- Secado de la madera

El secado de la madera es un paso crucial en su transformación, y se llevó a cabo con referencia al Manual de Diseño (1984). Este proceso busca reducir la humedad de la madera para aumentar su resistencia, apuntando a un porcentaje de humedad que varíe entre el 5% al 10%. El secado es vital para estabilizar las propiedades del material en diversas aplicaciones. El proceso utilizado para lograr este objetivo comprendió varias etapas:

1. Selección de Madera: Se seleccionó cuidadosamente la madera para el proceso de secado, asegurándose de que estuviera libre de defectos graves y que el contenido inicial de humedad fuera relativamente uniforme.
2. Preparación Inicial: Antes de comenzar el secado, la madera se almacenó durante un período en condiciones controladas, permitiendo que alcanzara su equilibrio inicial con su entorno.
3. Secado Inicial: La madera se colocó en un horno o cámara de secado con condiciones de temperatura y humedad controladas. Durante esta etapa, la humedad de la superficie se evaporó, lo que pudo haber llevado a un secado desigual. La velocidad de secado se controló cuidadosamente para evitar tensiones indebidas en la madera.
4. Secado a Temperatura Controlada: Al alcanzar cierta sequedad en la madera, la humedad ambiental disminuye gradualmente mientras que la temperatura aumenta. Este control facilita la evaporación continua de la humedad interna sin ocasionar deformaciones o grietas en la madera.
5. Monitoreo Continuo: A lo largo del proceso, se supervisa estrechamente la humedad de la madera mediante una sonda o medidor de humedad. Esto posibilita ajustar las condiciones de secado según sea necesario, garantizando que la madera se seque uniformemente y que se alcance el contenido de humedad deseado.

6. Embalaje Definitivo: Una vez logrado el rango de humedad objetivo (del 5% al 10%), la madera se estabiliza en un ambiente controlado, permitiendo un equilibrio final con las condiciones circundantes. Esto previene futuros cambios de humedad después de utilizar la madera. En resumen, el secado hasta alcanzar la humedad del 5% al 10% es un proceso intrincado que requiere un manejo cuidadoso y control preciso de las condiciones ambientales. El monitoreo y manejo meticulosos son vitales para obtener resultados exitosos y madera de alta calidad adecuada para diversas aplicaciones.

Paso 9.- Unión de capas por su tipo de madera

Este proceso implica unir las piezas de madera por su tipo utilizando un pegante de fraguado rápido, en este caso, un pegante tipo "brujita". Esto facilita la unión de las capas de madera.



Imagen 9. Aplicación de pegante de secado rápido para unión de las capas.

Paso 10.- Aplicación de encolado

Este paso consiste en aplicar el encolado del pegante a utilizar. En este caso, se empleó una mezcla de Resina Ureica Autoindurente de la marca ARKZONOBEL y agua, en proporciones de (5x3). Esta proporción fue elegida para obtener un secado más rápido y excelentes resultados mecánicos. Para un uso industrializado, se recomendaría el uso de goma blanca.



Imagen 10. Aplicación de encolado.

Paso 11.- Prensado del CLT

Una vez ensamblados y encolados los paneles, se procede a introducirlos en una prensa hidráulica de 300 toneladas. Los paneles se mantienen en la prensa de un día al otro, esperando así una unión compacta de los mismos. Este paso de prensado es vital para garantizar la integridad y resistencia de los paneles de madera laminada cruzada (CLT), resultando en un producto de alta calidad listo para diversas aplicaciones de construcción.



Imagen 11. Prensado de los paneles CLT.

Paso 12.- Trazado de los paneles

En esta fase, los paneles son meticulosamente dimensionados usando una escuadra y una tiza. Este proceso de trazado garantiza la precisión en el tamaño y forma, asegurando que los paneles cumplan con las especificaciones exactas requeridas para su aplicación final.



Imagen 12. Encuadre de paneles.

Paso 13.- Encuadre de los paneles

El trazado de los paneles se sigue mediante el uso de una sierra eléctrica para encuadrar los paneles. Esta técnica de encuadre asegura que los bordes de los paneles estén perfectamente alineados y que la forma cumpla con las especificaciones de diseño.



Imagen 13. Paneles encuadrados

Aplicación en Construcción: Los paneles de CLT se han vuelto cada vez más populares en la construcción moderna debido a su resistencia, versatilidad y sostenibilidad. Su preparación cuidadosa, como se describe en estos pasos, es esencial para garantizar que cumplan con las expectativas en términos de rendimiento y estética.

Consideraciones Ambientales: La producción de CLT debe considerar el impacto ambiental, incluyendo la selección de madera de fuentes sostenibles y el uso eficiente de recursos en el proceso de fabricación.

El proceso técnico detallado en la preparación de los paneles de CLT refleja un enfoque integral y consciente hacia la calidad y la sostenibilidad. Este análisis aporta una perspectiva valiosa para la investigación y desarrollo continuo en el campo de los materiales para estructuras constructivas, reforzando la posición de los paneles de madera laminada cruzada como una opción viable y deseable en la construcción moderna.



Imagen 14. Resultado de los paneles encuadrados; Elaboracion propia.

Fase 2. Ensayos de laboratorio

En la construcción contemporánea, los paneles de madera contralaminada (CLT) se han establecido como una alternativa innovadora y sostenible. Compuestos por capas de madera dispuestas perpendicularmente y unidas con un adhesivo de alta resistencia, estos paneles han transformado el diseño de edificios. El presente capítulo se enfoca en los ensayos de laboratorio realizados en los paneles CLT, explorando la fundamentación de estos estudios rigurosos. Desde la capacidad de soportar diversas cargas hasta el desempeño en distintas condiciones ambientales, dichas pruebas son vitales para entender y mejorar las propiedades esenciales de los paneles CLT. A través de un análisis meticuloso, se pueden descubrir las características técnicas de estos paneles y su contribución a un futuro más eficiente y sostenible en la industria de la construcción. Los ensayos se llevaron a cabo siguiendo las normas ASTM D 143-94, la normativa española UNE-EN 16351, y la norma técnica E.070 Albañilería de Perú.

Para determinar el margen que deben soportar los paneles de CLT, se consideró su uso propuesto para elementos no estructurales. Fue crucial identificar los esfuerzos mínimos requeridos según las normativas, que establecen los esfuerzos máximos que suelen soportar los muros no portantes antes de deformarse (el esfuerzo normal producido por el momento flector "M", se obtendrá como: $f = 6M / t^2$ y no será mayor que $f' = 0,147 \text{MPa}$ ($1,5 \text{Kg/cm}^2$) art.31 norma técnica E.070, 2006 de las normas técnicas peruanas, los paneles de CLT cumplen con estas regulaciones, estipulando que el esfuerzo máximo sin deformaciones sea de 1.5kg/cm^2 . Los paneles obtuvieron un resultado máximo de 181kg/cm^2 , superando ampliamente lo establecido en la normativa, y presentando deformación en la probeta solo después de ese peso.

Ensayo de flexión perpendicular a las fibras

En la evaluación de la flexibilidad y resistencia de los paneles de madera contralaminada (CLT), la prueba de flexión perpendicular al plano se destacó como un análisis crucial. Este estudio innovador permite comprender cómo

responden los paneles CLT y mantienen su integridad bajo cargas que actúan perpendicularmente a su superficie. Al investigar este experimento, se revelan las propiedades mecánicas singulares y las capacidades estructurales de los paneles CLT, factores que contribuyen a su aplicabilidad en una diversidad de situaciones constructivas.

Para este ensayo, se tomará como referencia la resistencia de los materiales más utilizados en el país en cuestión.



Imagen 15. Prueba de flexión en el laboratorio del CEINBES. Ilustración propia.

Tabla 3. Ensayos de flexión perpendicular a las fibras (Resistencias mínimas)

<i>Ensayos de flexión perpendicular a las fibras (Resistencias mínimas)</i>		
Material	Resistencia compresión mínima.	Normativas
los ladrillos macizos y perforados verticalmente.	100kg/cm ²	NORMA TÉCNICA E.070 ALBAÑILERÍA
ladrillos huecos.	1,50 kg/cm ²	NORMA TÉCNICA E.070 ALBAÑILERÍA
Panel CLT Eco materiales (espesor 105~232 mm)	60.35 Kg/cm ²	ANSI/APA GPR 320 CLT (Estándar para madera laminada cruzada con calificación de rendimiento)

Tabla 4. Ensayos de flexión perpendicular a las fibras (CEINBES)

Fecha De ensayo	Fecha de elaboración	Ensayo No.	Dosificación	Área	Probeta No.	No. Capas	f' aplicada (Kn)	Resistencia media (Kn)	Velocidad de f' aplicada (Kpa/s)	% Humedad
15/08/23	15/07/23	1	5:3	50cm ²	1	5	62.3	60.35	0 – 50 Kpa/s	8.2
15/08/23	15/07/23	2	5:3	50cm ²	2	5	58.4		0 – 50 Kpa/s	5.5
15/08/23	15/07/23	3	5:3	50cm ²	3	3	34.3	34.15	0 – 50 Kpa/s	5.4
15/08/23	15/07/23	4	5:3	50cm ²	4	3	34.0		0 – 50 Kpa/s	6.8

En el laboratorio CEINBES de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, se efectuaron ensayos de flexión en paneles. Se probaron dos tipos: uno de 5 capas y otro de 3 capas. Los resultados superaron las expectativas, manteniendo una proporción de 5 partes de pegante por 3 partes de agua para incrementar la resistencia. La fuerza aplicada varió de 0 a 50 kPa/s, promediando 60.35 kN en paneles de 5 capas y 34.15 en paneles de 3 capas. Controlar la humedad fue crucial, optando por niveles inferiores al 5% para mayor resistencia. Estos logros destacan la importancia de las capas y la humedad en la optimización de la resistencia. Los resultados demuestran que los paneles no soportan muchos esfuerzos laterales.

Ensayo de compresión perpendicular a las fibras

Para evaluar la capacidad de los materiales de soportar cargas aplicadas en dirección perpendicular a sus granos, el ensayo de compresión perpendicular a las fibras es esencial. Este ensayo brinda información crucial sobre la resistencia y deformación de los materiales bajo intensas fuerzas de compresión, desafiando su estructura interna. Ofrece una visión completa de cómo los materiales enfrentan la compresión en circunstancias distintas a las cargas axiales, lo cual es de gran relevancia.

Para este ensayo, se tomará como referencia la resistencia de los materiales más utilizados en el país en cuestión.



Imagen 16. Personal a cargo de las pruebas de laboratorio del CEINBES.

Ilustración propia.

Tabla 5. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras (Resistencias mínimas).

Material	Resistencia compresión perpendicular mínima.	Normativa
los ladrillos macizos y perforados verticalmente.	37.5kg/cm ²	NTE INEN 3066
ladrillos huecos.	14.28g/cm ²	NTE INEN 3066
Panel CLT (espesor 105~232 mm)	61.18 kg/cm ²	ANSI/APA GPR 320 CLT

Tabla 6. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras. (Ceinbes)

Fecha De ensayo	Fecha de elaboración	Ensayo No.	Dosificación	Área	Probeta No.	No. Capas	f' aplicada (Kn)	Resistencia media (Kn)	Velocidad de f' aplicada (Kpa/s)	% Humedad
15/08/23	15/07/23	1	5:3	50cm ²	1	5	90.9	95.4	0 – 50 Kpa/s	8.2
15/08/23	15/07/23	2	5:3	50cm ²	2	5	99.9		0 – 50 Kpa/s	5.5
15/08/23	15/07/23	3	5:3	50cm ²	3	3	59.94	57.69	0 – 50 Kpa/s	5.4
15/08/23	15/07/23	4	5:3	50cm ²	4	3	55.45		0 – 50 Kpa/s	6.8

En el laboratorio CEINBES, se efectuaron ensayos de compresión perpendicular a las fibras de los paneles. Se probaron dos tipos: uno de 5 capas y otro de 3 capas. Los resultados superaron las expectativas, manteniendo una proporción de 5 partes de pegante por 3 partes de agua para incrementar la resistencia. La fuerza aplicada varió de 0 a 50 kPa/s, promediando una fuerza de ruptura en 95.4 kN, en paneles de 5 capas y 57.69 Kn en paneles de 3 capas. Controlar la humedad fue crucial, recomendando optar por niveles inferiores al 5% de humedad para mayor resistencia. Estos logros destacan la importancia del número de capas y la humedad en la optimización de la resistencia. Esta prueba evidencia que los paneles responden mejor a cargas verticales que a fuerzas flexión anteriormente realizados.

Ensayo de compresión paralela a las fibras.

Un elemento vital en la prueba de compresión paralela a las fibras es la habilidad para caracterizar los materiales. Este examen investiga cómo los materiales resisten la compresión aplicada en la misma dirección que las fibras, revelando su resistencia, flexibilidad y posibles cambios de forma. Comprender el comportamiento estructural de elementos como vigas y columnas es fundamental, ya que puede contribuir al diseño de estructuras seguras y eficientes. Además, suministra datos esenciales para la fabricación de maderas, composites y otros materiales utilizados en diversos sectores de la construcción.



Imagen 17. Prueba de compresión en el laboratorio del CEINBES.

Ilustración propia.

Tabla 7. Ensayos de compresión paralela a las fibras (Resistencias mínimas)

Material	Resistencia compresión mínima.	Normativas
los ladrillos macizos y perforados verticalmente.	100kg/cm ²	NTE INEN 3066
ladrillos huecos.	50kg/cm ²	NTE INEN 3066
Panel CLT (Ecomateriales UCSG)	181kg/cm ²	ANSI/APA GPR 320 CLT

Tabla 8. Ensayo de compresión paralela a las fibras. (Ceinbes)

Fecha de ensayo	Fecha de elaboración	Ensayo No.	Dosificación	Área	Probeta No.	No. Capas	f' aplicada (Kn)	Resistencia media (Kn)	Velocidad de f' aplicada (Kpa/s)	% Humedad
15/08/23	15/07/23	1	5:3	50cm ²	1	5	62.3	60.35	0 – 50 Kpa/s	8.2
15/08/23	15/07/23	2	5:3	50cm ²	2	5	58.4		0 – 50 Kpa/s	5.5
15/08/23	15/07/23	3	5:3	50cm ²	3	3	34.3	34.15	0 – 50 Kpa/s	5.4
15/08/23	15/07/23	4	5:3	50cm ²	4	3	34.0		0 – 50 Kpa/s	6.8

En el laboratorio CEINBES de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, se efectuaron ensayos de compresión perpendicular a las fibras de los paneles. Se probaron dos tipos: uno de 5 capas y otro de 3 capas. Los resultados superaron las expectativas, manteniendo una proporción de 5 partes de pegante por 3 partes de agua para incrementar la resistencia. La fuerza aplicada varió de 0 a 50 kPa/s, promediando una fuerza de ruptura en 95.4, en paneles de 5 capas y 57.69 Kn en paneles de 3 capas. Controlar la humedad fue crucial, recomendando optar por niveles inferiores al 5% de humedad para mayor resistencia. Estos logros destacan la importancia del número de capas y la humedad en la optimización de la resistencia. Esta prueba evidencia que los paneles responden mejor a cargas verticales que a fuerzas de empuje, brindando oportunidades para experimentar con refuerzos y el número de capas para incrementar su resistencia y permita su uso en estructuras.

Ensayo de durabilidad a la intemperie

Las pruebas de durabilidad a la intemperie constituyen un método vital para comprobar la resistencia y longevidad de los materiales en condiciones ambientales desfavorables. La evaluación del pegamento y la inmunización contra hongos se realizan sumergiendo las probetas en agua, simulando condiciones extremas de humedad. Al analizar la resistencia estructural y las características del material, esta prueba ofrece información valiosa para el diseño y selección de componentes en entornos con alta humedad y condiciones climáticas variadas. Durante el ensayo, el peso de la pieza de prueba aumentó ligeramente debido a la absorción de agua, pero las propiedades físicas del pegamento no se vieron afectadas. También se obtuvo un resultado positivo con la inmunización, ya que la probeta no contenía hongos después de 20 días de inmersión. Se demostró que tanto el pegamento como el proceso de inmunización son eficaces, evidenciando su durabilidad y funcionalidad en condiciones adversas. Esto respalda la efectividad de ambos métodos para su uso futuro.



Imagen 18. Prueba de durabilidad día 1. Ilustración propia.

Resumen de propiedades físico - mecánicas de los paneles de CLT producidos

Tras la realización de diversos ensayos de laboratorio, se han identificado varias propiedades clave de los paneles de CLT producidos. El siguiente cuadro resume estas propiedades, ofreciendo una visión consolidada de los hallazgos y su relevancia en el contexto de la construcción sostenible."

Propiedades del panel

Dimensiones: 0.45cm x 0.45cm

Peso promedio: 11.6 libras Variación dimensional:

Tabla 9. Propiedades de los paneles. Elaboración propia.

Propiedad	Valores hallados	Obvservación
Dimensiones	4.5cmx120cmx24 0cm	Mayor espesor equivale a mayor resistencia
Peso promedio	6.50 libras	3 capas (Fernan Sanchez, Ballsa, Bambú)
Peso promedio	12.90 libras	5 capas (Bambú, Fernan Sanchez, balsa, Fernan Sanchez, Bambú)
Resistencia a compresión.	95.4 (Kn)	5 capas (Bambú, Fernan Sanchez, balsa, Fernan Sanchez, Bambú)
Resistencia a compresión.	57.69 (Kn)	3 capas (Fernan Sanchez, Ballsa, Bambú)
Resistencia a flexión.	60.35 (Kn)	5 capas (Bambú, Fernan Sanchez, balsa, Fernan Sanchez, Bambú)
Resistencia a flexión.	34.15 (Kn)	3 capas (Fernan Sanchez, Ballsa, Bambú)

Durabilidad a condiciones extremas..	--	Luego de 25 días sumergido el panel, el pegante seguía intacto y no se presenciaron hongos, el peso del panel había aumentado considerablemente por la absorción de la balsa.
--------------------------------------	----	---

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos de los prototipos de paneles de madera contralaminada reflejan un progreso notable en la búsqueda de materiales de construcción más eficientes y sostenibles. Las pruebas de compresión y flexión han evidenciado un rendimiento excepcional, superando ampliamente a los materiales convencionales y abriendo nuevas posibilidades en la industria de la construcción. Además, la prueba de resistencia ha confirmado la solidez y durabilidad del material en condiciones adversas, lo que respalda la viabilidad a largo plazo de este material innovador.

Los resultados de la investigación respaldan firmemente la introducción y expansión de este innovador sistema constructivo en Ecuador y en la región. Representa un avance significativo hacia una construcción eficiente, sostenible y accesible para todos, y marca un hito en la evolución de la industria de la construcción.

La elección de especies maderables como el Fernán Sanchez, la balsa y el bambú ha demostrado ser acertada, dada su alta densidad y resistencia. Estas características han contribuido a la eficacia de los paneles de CLT en las pruebas de laboratorio, especialmente en términos de resistencia y durabilidad.

La planificación cuidadosa en la recolección de residuos y el acopio de la madera ha asegurado un abastecimiento constante y adecuado de los materiales, lo cual es crucial para la sostenibilidad y eficacia del proyecto.

Las etapas de dimensionamiento, cepillado, inmunización y prensado han sido fundamentales para garantizar la calidad de los paneles de CLT. Estos procesos han sido validados a través de pruebas de laboratorio, confirmando la resistencia, durabilidad y estabilidad de los paneles.

Los paneles de CLT fabricados superaron ampliamente las normativas técnicas peruanas y las normas ASTM y UNE-EN en términos de resistencia y esfuerzo máximo sin deformaciones. Esto valida la eficacia del proceso de fabricación y la calidad del producto.

Las etapas de unión, prensado y encolado han sido cruciales para garantizar la integridad estructural de los paneles. La utilización de adhesivos de alta resistencia y técnicas de prensado eficaces resultó en un producto final que cumple con los estándares de calidad y resistencia.

Los paneles de CLT mostraron una resistencia excepcional en los ensayos de flexión y compresión, tanto perpendicular como paralela a las fibras. Estos resultados superan las resistencias mínimas establecidas, lo que demuestra la alta calidad y aplicabilidad de estos paneles en diversas situaciones constructivas.

Los ensayos de durabilidad a la intemperie confirmaron la efectividad del pegamento y del proceso de inmunización. Los paneles mantuvieron su integridad incluso en condiciones extremas de humedad, lo que respalda su uso en entornos con condiciones climáticas variadas.

La investigación y el proceso de fabricación detallado han demostrado la viabilidad de los paneles de CLT como una solución innovadora en la industria de la construcción. Los hallazgos obtenidos no solo subrayan la resistencia y durabilidad de estos paneles, sino que también destacan su potencial para contribuir a la construcción sostenible y eficiente. Este estudio marca un avance significativo en el campo de los materiales de construcción, ofreciendo nuevas perspectivas y oportunidades para futuras investigaciones y aplicaciones en el sector.

Recomendaciones

Cuando se desarrolle el proceso a gran escala, se recomienda realizar ajustes en la dosificación para equilibrar el rendimiento con las prescripciones estándar, manteniendo siempre la calidad y seguridad del producto dentro de los parámetros especificados.

La adopción de este sistema constructivo puede contribuir significativamente a la conservación del medio ambiente, siempre que la tala cumpla con estándares de sostenibilidad.

Se insta al desarrollo de nuevas regulaciones en Ecuador que incorporen este sistema, permitiendo una mayor estandarización y promoviendo su uso en el país.

La comparativa económica con los materiales tradicionales no solo beneficia a los proyectos de construcción sino que también impacta positivamente en las iniciativas de vivienda social, fomentando un mayor acceso a una vivienda digna.

No se debe pasar por alto la estética y las propiedades térmicas de este producto. Su naturaleza leñosa ofrece un ambiente estéticamente agradable, y su aislamiento proporciona un entorno fresco y confortable.

Referencias

- Aicher, S., Christian, Z., & Hirsch, M. (2016). Rolling shear modulus and strength of beech wood laminations. *Holzforschung*; 70(8), 773-781. DOI: 10.1515/hf2015-0229.
- Aicher, S., Hirsch, M., & Christian, Z. (2016). Hybrid cross-laminated timber plates with beech wood cross-layers. . *Construction & Building Materials*. 124, 1007-1018. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.051.
- Amorim, S., Mantilla, J., & Carrasco, E. (2017). A madeira laminada cruzada: Aspectos tecnológicos, construtivos e de dimensionamento. . *Revista Matéria, Suplemento, artigo e-11937*, 1-7. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/Kvz4YZJ8n64y93m8Z9YNJ9N/?format=pdf&lang=pt>.
- Asociación Española de Normalización. (2021). *Norma Española UNE-EN 16351 Estructuras de madera Madera contralaminada*. Madrid: Comité Técnico CTN 56 Madera y Corcho.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (25 de Noviembre de 2016). *¿Se entiende el problema de la vivienda? El déficit habitacional en discusión*. Recuperado el 31 de Julio de 2023, de <https://blogs.iadb.org/ciudadessostenibles/es/problema-de-vivienda/>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (14 de Junio de 2022). *La madera como material de construcción de viviendas: ¿Cuáles son sus beneficios?* Recuperado el 31 de Julio de 2023, de División de Vivienda y Desarrollo Urbano (HUD) del Banco Interamericano de Desarrollo.: <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/la-madera-como-material-deconstruccion-de-viviendas-cuales-son-sus-beneficios/>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (29 de Marzo de 2022). *Mejorando vidas en Ecuador: Vivienda social inclusiva*. Recuperado el 31 de Julio de 2023, de <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/mejorando-vidas-en-ecuadorvivienda-social-inclusiva/#:~:text=Aunque%20ALC%20es%20la%20regi%C3%B3n,los%20hogares%20de%20menores%20ingresos>.

- Benedetti, F., & Hidalgo, R. (2017). *Análisis del desempeño sísmico de una estructura de mediana altura de paneles CLT*. Bio-Bio Chile : Universidad del Bio-Bio, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (Chile).
- Bhandari, S., Riggio, M., Jahedi, S., Fischer, E., Muszynski, L., & Luo, Z. (2023). A review of modular cross laminated timber construction: Implications for temporary housing in seismic areas. *Journal of Building Engineering* 63, 105485, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105485>.
- Burback, B., & Pei, S. (2017). Cross-Laminated Timber for Single-Family Residential Construction: Comparative Cost Study. *Journal of Architectural Engineering* 23(3), June, DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000267](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000267).
- Corporación Financiera Nacional. (2017). *Ficha sectorial: EXPLOTACIÓN DE VIVEROS FORESTALES Y MADERA EN PIE*. GDGE – SUBG. DE ANÁLISIS E INFORMACIÓN CFN. Quito. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2017/10/Ficha-Sectorial-Viveros-yMadera-en-Pie.pdf>: GDGE – SUBG. DE ANÁLISIS E INFORMACIÓN.
- Corporación Financiera Nacional. (2021). *FICHA SECTORIAL: SILVICULTURA Y EXTRACCIÓN DE MADERA*. Quito: CFN BP-SUBGERENCIA DE ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS.
- De Araujo, V., & Christoforo, A. (2023). The Global Cross-Laminated Timber (CLT) Industry: A Systematic Review and a Sectoral Survey of Its Main Developers. *Sustainability*, 15(10), 7827, 1-27. DOI: <https://doi.org/10.3390/su1510782>.
- De Araujo, V., Aguiar, F., Jardim, P., Mascarenhas, F., Marini, L., Aquino, V., & Santos, H. (2023). Is Cross-Laminated Timber (CLT) a Wood Panel, a Building, or a Construction System? A Systematic Review on Its Functions, Characteristics, Performances, and Applications. *Forests* 14(264), 1-28. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14020264>.
- Dietrich, B., Wang, X., Olle, H., & al, e. (2016). Bending properties of cross laminated timber (CLT) with a 45° alternating layer configuration. *BioResources*, 11(2), 4633-4644.
- Ehrhart, T., & Brandner, R. (2018). Rolling shear: Test configurations and properties of some European soft- and hardwood species. *Engineering Structures*; 172, 554-572. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.05.118.

- European Committee for Standardization. (2015). *EN 16351:2015, Timber Structures –Cross Laminated Timber - Requirements*,.
- FAO/UN. (2021). *Forest Products Annual Market Review 2020–2021*. Geneva, Switzerland: FAO/UN:.
- Flores, S. (2022). *ESTUDIO TÉCNICO, ECONÓMICO Y AMBIENTAL DEL USO DE LA MADERA CONTRALAMINADA COMO ALTERNATIVA A LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS SOCIALES EN CHILE*. Santiago, Chile: Universidad Diego Portales. .
- Gagnon, S., & Karacabeyl, E. (2019). *CLT Handbook: Cross-Laminated Timber*,. Pointe-Claire, Canada.
- Godoy, D., Vega, A., & Baño, V. (2017). Caracterización de paneles de madera contralaminada (CLT) fabricados a partir de tablas de *Pinus Taeda/elliottii* de bajas propiedades mecánicas. *II Congreso Latinoamericano de Estructuras de Madera CLEM*, 1-10. Disponible en: [https://clemcimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T4-06.%20CARACTERIZACI%C3%93N%20DE%20PANELES%20DE%20MADERA%20CONTRALAMINADA%20\(CLT\)%20FABRICADOS%20A%20PARTIR%20DE%20TABLAS%20DE%20PINUS%20TAEDA-ELLIOTTII%20DE%20BAJAS%20PROPIEDADES%20MEC%C3](https://clemcimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T4-06.%20CARACTERIZACI%C3%93N%20DE%20PANELES%20DE%20MADERA%20CONTRALAMINADA%20(CLT)%20FABRICADOS%20A%20PARTIR%20DE%20TABLAS%20DE%20PINUS%20TAEDA-ELLIOTTII%20DE%20BAJAS%20PROPIEDADES%20MEC%C3).
- Gong, M., Tu, D., & Li, L. (2015). Planar shear properties of hardwood cross layer in hybrid cross laminated timber;. *September 2015; Quebec City. 5th International scientific conference on hardwood processing*, 85-90.
- GreenSpec. (2023). *Crosslam timber / CLT: Manufacturing process*. Recuperado el 1 de Agosto de 2023, de <https://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslaminated-timber-manufacturing-process/>
- Gupo SIERO, Principado de Asturias, & Fondo Europeo de Desarrollo Regional. (27 de Febrero de 2023). *Madera contralaminada o laminada cruzada*. Recuperado el 2 de Agosto de 2023, de <https://www.sierolam.com/blog/madera-contralaminada-o-laminada-cruzada/>
- Hernández, M., Jiménez, S., & Sánchez, J. J. (2021). Materiales alternativos oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector

construcción. *Tecnología en Marcha*, 34 (2), 3-10. DOI:
<https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831>.

INEC. (2022). *Boletín Técnico. N°01-2022-ESED. Estadísticas de Edificaciones (ESED). II Trimestre 2022. Minería, manufactura y construcción. Octubre 2022.. INEC*. Quito: Dirección de Estadísticas Económicas. Gestión de Estadísticas Estructurales. INEC.

INIAP; IKIAM; ENGIM. (2018). *Guía para la priorización participativa de especies forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. ISBN: 9789942-28-978-0.

Koppelhuber, J., Bauer, B., Wall, J., & Heck, D. (2017). Industrialized Timber Building Systems for an Increased Market Share – a Holistic Approach Targeting Construction Management and Building Economics. *Procedia Engineering*; 171, 333-340. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.341>.

Magro, R. (2017). *MICRO DENSIFICACIÓN - VILLA SANTA CAROLINA DE MAIPÚ EN SANTIAGO*. Santiago: Universidad de CDhile.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2020). *Déficit Habitacional Nacional*. Recuperado el 31 de Julio de 2023, de
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/deficit-habitacional-nacional/>

Moore, A. (1 de August de 2022). *5 Benefits of Building with Cross-Laminated Timber*. Recuperado el 2 de Agosto de 2023, de NC State University-College of Natural Resources: <https://cnr.ncsu.edu/news/2022/08/5-benefits-crosslaminated-timber/>

Mur, Y., & Silva, S. (2020). *PROPUESTA DE PANEL MODULAR EN MADERA, PARA MUROS DIVISORIOS EN LA VIVIENDA DE LA VEREDA PEÑA NEGRA DEL MUNICIPIO DE CACHIPAY, CUNDINAMARCA*. Universidad La Gran Colombia.

Ouedraogo, N. (2022). *Vivienda colectiva en sistema prefabricado CLT: un límite dinámico e integral para las diversas clases socioeconómicas del barrio la Floresta*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Facultad de Arquitectura, Diseño y Artes .

Palacios, W., & Jaramillo, N. (2015). *Árboles amenazados del Chocó ecuatoriano*.

Avances en ciencias e ingenierías, 8, DOI:

<https://doi.org/10.18272/aci.v8i14.508>.

- Pierobon, F., Huang, M., Simonen, K., & Ganguly, I. (2021). Environmental benefits of using hybrid CLT structure in midrise non-residential construction: An LCA based comparative case study in the U.S. Pacific Northwest. *J. Build. Eng.*, 26, 10086, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100862>.
- Schmitt, C. (2017). Revalorización de bloques de vivienda social en Chile por medio de paneles de madera. *II Congreso Latinoamericano de Estructuras de Madera CLEM*, 1-10. Disponible en: <https://clemcimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T7-24.pdf>.
- Sornoza, J., Caballero, B., Zambrano, R., & Veliz, J. (2022). Materiales alternativos empleados en la construcción de viviendas en Ecuador: una revisión. *Pol. Con. (Edición núm. 69) 7(4); Abril*, 1072-1097. DOI: 10.23857/pc.v7i4.3875.
- Sotayo, A., Bradley, D., Bather, M., Sareh, P., Oudjene, M., El-Houjeyri, I., & Harte, A. (2020). Review of state of the art of dowel laminated timber members and densified wood materials as sustainable engineered wood products for construction and building applications. *Developments in the Built Environment*, 1, February. 100004, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2019.100004>.
- Universidad Centroamericana José Simeón Cañas . (2000). *ENSAYO DE TENSIÓN, COMPRESIÓN Y CORTE EN MADERA. ASTM D 143-94 (Métodos estándar de ensayo para pruebas con pequeños*. San Salvador, El Salvador.
- Valdez, D. (2021). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de las especies maderables no registradas por el ministerio del ambiente en la provincia de Morona Santiago*. Universidad de Cuenca.
- van de Kuilen, J., Ceccotti, A., Xia, Z., & He, M. (2011). Very tall wooden buildings with cross laminated timber. . *Procedia Eng.*, 14,, 1621-1628. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.204>.
- Wang, Z., & Yin, T. (2021). Cross-Laminated Timber: A Review on Its Characteristics and an Introduction to Chinese Practices. *Engineered Wood Products for Construction*, 1-18. DOI: 10.5772/intechopen.92960.

Wang, Z., Fu, H., Chui, Y., & et al. (2014). *Feasibility of using poplar as cross layer to fabricate cross-laminated timber*. In: *World Conference on Timber Engineering; 10 August 2014*. Quebec city: Canada.

Wang, Z., Fu, H., Luo, H., & et al. (2016). Planar shear properties of fast-growing poplar in hybrid cross laminated lumber. *Journal of Nanjing Tech University (Natural Science Edition)*. 38(5), 116-120. DOI: 10.3969/j.issn.16717627.2016.05.019 (In Chinese).

Wieruszewski, M., & Mazela, B. (2017). Cross Laminated Timber (CLT) as an Alternative Form of Construction Wood . *DRVNA INDUSTRIJA 68 (4)* , 359-367. Disponible en: <http://drvnatest.sumfak.hr/wpcontent/uploads/2019/05/Drv-Ind-Vol-68-4-Wieruszewski.pdf>.

Anexo 1. Tabla de las maderas analizadas

No.	Especie	Crecimiento	Densidad (Kg/m3)	Nivel de riesgo	Disponibilidad de mercado	Lugar de siembra
1	Amarillo (Centrolobium cochroxyllum Rose ex Rudd)	Lento	515,72	Peligro crítico. Tendencia de población: decreciente	N.D	Emeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro
2	Balsa (Cochroma Pyramidale)	Rápido	340	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	D	Galápagos, Los Ríos, Manabí, Napo y Pastaza
3	Cedro (Cedrela odorata L)	Medio	407,06	Vulnerable. Tendencia de población: decreciente	P.D	Esmeraldas, Manabí, Pichincha, Guayas, Cotopaxi
4	Fernán Sánchez (Triplaris americana L.)	Rápido	601,07	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	D	Esmeraldas, Los Ríos, Loja, Guayas, Sucúa
5	Figueroa (Trichilia martiana C. DC.)	Lento	517,56	Preocupación menor. Tendencia de población: desconocido	N.D	Los Ríos, Guayas, Napo, Morona Santiago
6	Guachapelí (Preudosameana guachapele (Kunth hams)	Medio	675,35	N.I	N.D	Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro
7	Guayacánc (Handroanthus chysanthus (Jacq.) S.O. (grose)	Lento	867,47	Vulnerable. Tendencia de población: decreciente	D	Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro
8	Laurel De la costa (Cordia aliodora (Ruiz / Pav.) Oken)	Medio	394,08	Preocupación menor. Tendencia de población: desconocido	D	Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro
9	Limoncillo (Zanthoxylum riedeluanum Engl.)	Rápido	678,54	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	P.D	Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, El Oro
10	Mascarey (Hieronyma alchomeoides Allemao)	Medio	751,08	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	D	Esmeraldas, Guayas, Imbabura, Pichincha, Bolívar
11	Pechiche (Vitex gigantea Kunth)	Medio	753,33	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	D	Esmeraldas, Guayas, Manabí, El Oro, Sucumbíos
12	Jigua (Nectandra Reticulata (Ruiz y Pay) Mex)	Medio	390,64	Preocupación menor. Tendencia de población: desconocido	P.D	Esmeraldas, Los Ríos, El Oro, Imbabura, Pichincha
13	Melina (Gmelina arborea Roxb=	Rápido	443,85	Preocupación menor. Tendencia de población: desconocido	P.D	Manabí, Los Ríos
14	Moral (Sorocea trophoides W.C. Burguer)	Lento	761,17	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	P.D	Los Ríos, Imbabura, Cotopaxi, Pichincha, Bolívar
15	Pitura (Clarisia racemosa Ruiz y Pav)	Rápido	606,78	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	P.D	Esmeraldas, Los Ríos, Pichincha, Sucumbíos, Napo
16	Roble (Dendrobangia boliciana Rusby)	Lento	574,61	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	D	Esmeraldas, Los Ríos, Napo
17	Teca /Tectona grandis L.F)	Medio	683,34	Peligro crítico. Tendencia de población: decreciente	D	Esmeraldas, Manabí, Santo Domingo, Los Ríos, Guayas
18	Balsa (Ocroma piramidal)	Rápido	120	Preocupación menor. Tendencia de población: desconocida	D	Costa y Amazonía
19	Saman (Samanea samán)	Lento	490	Preocupación menor. Tendencia de población: estable	D	El Oro, Guayas, Manabí
20	Bambu (Guadua Angustifolia GaK)	Rápido	483,3	Preocupación menor. Tendencia de población: desconocida	D	Esmeraldas, Guayas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena

Aptas

Aptas pero sobrepasan densidad de pino
No aptas

Compilación de fuentes: (Palacios & Jaramillo, 2015) (INIAP; IKIAM; ENGIM, 2018) (Valdez, 2021)

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Mejía Uday Jhonny Andrés**, con C.C: #0928365204 autor/a del trabajo de titulación: **Prototipo de paneles de madera contralaminada (CLT) con especies maderables del cantón Naranjal** previo a la obtención del título de **Arquitecto** 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, 8 de septiembre de 2023

f.



Nombre: **Jhonny Andrés Mejía Uday**

C.C: 0928365204

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Prototipo de paneles de madera contralaminada (CLT) con especies maderables del cantón Naranjal.		
AUTOR(ES)	Jhonny Andrés Mejía Uday		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Arq. Boris Forero Fuentes, Mgs.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de arquitectura y diseño.		
CARRERA:	Arquitectura.		
TÍTULO OBTENIDO:	Arquitecto.		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	08 de septiembre 2023	No. PÁGINAS:	81
ÁREAS TEMÁTICAS:	Eco materiales. Madera contralaminada. Autosuficiencia.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	CLT, Vivienda, Residuos, Madera, Contralaminados.		
RESUMEN/ABSTRACT: La vivienda es un pilar fundamental para el desarrollo humano y social. En América Latina y el Caribe, y específicamente en Ecuador, donde existe un déficit significativo de unidades habitacionales de calidad. La madera, un recurso natural renovable, ha sido históricamente un material de construcción esencial. Sin embargo, en la región, la construcción en madera a menudo se asocia con viviendas de baja calidad. En este escenario, la madera contralaminada (CLT) surge como una alternativa sostenible y de alta calidad. El objetivo general de la presente investigación ha sido determinar el aporte de las propiedades físico-mecánicas de probetas de CLT con maderas recicladas del cantón Naranjal en el año 2023, para la reducción del déficit habitacional en Ecuador. Los objetivos específicos incluyen la identificación de empresas que elaboran estas probetas, el destino de su producción y la evaluación de sus propiedades como una alternativa viable en el sector de la construcción.			
ADJUNTO PDF:	SI	NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 969853169	E-mail: jhonny.mejia@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: SANDOYA LARA, RICARDO ANDRÉS		
	Teléfono: +593-996608225		
	titulación.arq@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):			