

ANÁLISIS DEL CLT COMO SUPER ESTRUCTURA EN CHILE.

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante:

Mauricio Andrés Toledo Castro

Profesor Guía:

Jose Ignacio Torres Barón

Fecha:

30 de octubre del año 2024, Santiago, Chile

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado especial y mayoritariamente a mi hijo Bruno, lo amo mucho e increíblemente agradecido por las ganas que me entrega de vivir la vida, agradecido de las personas que participaron en esta motivación ya sea novia María José, madre de mi hijo, apoyándome en todo momento hasta el día de hoy, agradecido de mis hermanos, que me han entregado toda la fuerza a lo largo de mi vida y para que decir en este proyecto, sin dejar de lado a mis padres, por su apoyo incondicional que sin ello no habría podido hacerlo, mi amigo Nicolas, no podría no mencionarlo mi mejor amigo siempre apoyándome en toda situación, 16 años que nos conocemos, agradecido de estas personas y se me podría escapar un nombre, pero lo que quiero decir de estas personas es la confianza que me han entregado no solo ahora, siempre, que bueno es cuando tienes recuerdos de muy pequeño, joven, adulto, te hacen sonreír de solo pensar en los buenos momentos que haz pasado con estas personas, que al final no importa el tiempo, sino en la sintonía que nos encontramos con estas personas, que sabes que todo sigue igual, gracias.

RESUMEN

La edificación en altura es crucial para el desarrollo urbano, motivo por el cual hoy en día se buscan soluciones constructivas que empleen métodos sostenibles y diversos materiales, como la madera contralaminada (CLT). El cual ha tenido resultados positivos respecto al ahorro significativo de tiempo, su colaboración con el medio ambiente, y su capacidad estructural. Estos y otros factores han generado construcciones en madera contralaminada, soluciones constructivas de todo tipo, existen diversos ejemplos que se presentan principalmente en Europa, como también en América.

Este trabajo estará enfocado principalmente en dar a conocer el sistema CLT, conociendo ejemplos existentes en Chile, mencionando sus propiedades, sus parámetros estructurales, su construcción en fábrica, herramientas, materiales, maquinarias, procesos técnicos de mano de obra, junto con su transporte como también su montaje, además de dar a conocer las ventajas y desventajas de este sistema constructivo de madera.

Continuando con esta investigación, se tomará como referencia ejemplos como el edificio Tamango ubicado en Coyhaique, edificio Peumo, ubicado en Santiago y la torre Burgos, este como tal, se encuentra en proceso de construcción actualmente, ubicado en Santiago.

Posterior, dando a conocer las propiedades del CLT junto a sus ejemplares con detalle las variables a analizar y todas las capacidades que posee este material, para concluir con el análisis de los ejemplos mencionados, resultando si ¿estos paneles pudiesen ser considerados o no para ser “super estructuras”?

Palabras Claves: CLT, prefabricado, madera.

SUMMARY

High-rise construction is crucial for the development of cities, which is why today, construction solutions are showcasing new ways of building with diverse materials and sustainable methods, such as cross-laminated timber (CLT). CLT has shown positive results in terms of significant time savings, environmental benefits, and structural capacity. These and other factors have led to the growth of cross-laminated timber construction, with a variety of applications. There are numerous examples, primarily in Europe, but also in the Americas.

This work will focus mainly on presenting the CLT system, examining existing examples in Chile and discussing its properties, structural parameters, manufacturing process, tools, materials, machinery, technical labor processes, as well as transportation and assembly methods. Additionally, it will outline the advantages and disadvantages of this wood-based construction system.

The research will reference examples such as the Tamango building in Coyhaique, the Peumo building in Santiago, and the Burgos Tower, currently under construction in Santiago. Following this, the properties of CLT will be analyzed, along with these case studies, to examine various factors and the potential capabilities of this material. The analysis will conclude by determining whether these panels could be considered for use in "superstructures."

Keywords: Cross laminated timber, prefabricated, wood.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO	3
ANTECEDENTES DEL PROYECTO	5
CAPITULO I: "LA MADERA Y EL CLT"	6
CAPITULO II: "VARIABLES DE ESTUDIO"	24
CAPITULO III: "ANÁLISIS COMPARATIVO"	28
CAPITULO IV: "RESULTADOS"	34
CAPITULO V: "CONCLUSIONES"	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

SOLO USO ACADÉMICO

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N° 1: Panel CLT	8
Imagen N° 2: “ CLT a la vista”	9
Imagen N° 3: “Costo CLT”	35
Imagen N° 4: “ Consideraciones”	35
Imagen N° 5: “ Costos auxiliares”	35
Imagen N° 6: “Costo de primera planta de CLT”	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Cuadro comparativo	33
---	----

SOLO USO ACADÉMICO

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción aumenta su volumen de edificaciones cada día, especialmente en altura, elemento que se considera fundamental para el desarrollo urbano. Este crecimiento, sin embargo, también incrementa la emisión de gases de efecto invernadero producto de los procesos constructivos. Ante esta situación, el sector ha optado por innovaciones que reduzcan dicho impacto, explorando materiales alternativos al hormigón armado, como la madera.

La madera es un material que ha servido como guía para dirigirnos hacia un modelo constructivo con un amplio abanico de opciones sostenibles y renovables del país, además de otras ventajas como la buena aislación térmica que posee.

La madera contralaminada (CLT), sistema constructivo que ha revolucionado el sector desde la década de 1990 en países como Austria y Alemania, ha demostrado un rendimiento notable, especialmente en construcciones de mediana altura. Países pioneros de este sistema constructivo como Austria y Alemania comenzaron con edificios en mediana altura, entregando resultados positivos, hoy en día estos países, junto a otros, hacen competir la madera con el hormigón y el acero.

El sistema CLT, siglas que provienen del inglés Cross laminated Timber (madera contralaminada) ha emergido como una innovación significativa en la industria de la construcción en Chile durante la última década. Este material, que se genera en formato de paneles compuestos por capas de madera maciza adheridas de forma cruzada, ha sido un sistema que ha revolucionado las prácticas constructivas en un país que en este caso es Chile donde la madera es un recurso natural abundante, es por esto por lo que no solo ha sido una solución sostenible si no también como una respuesta eficiente y resiliente frente a los desafíos sísmicos que son característicos en este país.

El impacto ha sido notable, especialmente en la construcción de viviendas y edificaciones en mediana altura, donde la rapidez de montaje, la reducción de la huella de carbono y la eficiencia energética, han sido claves. Proyectos pioneros como el edificio Tamango en Coyhaique y el edificio Peumo en la Universidad Católica, han demostrado que el CLT no solo es viable, sino que también es ventajoso en términos estructurales y medioambientales.

Además, la aceptación de este material ha estimulado una revisión de las normativas y prácticas arquitectónicas tradicionales en Chile, promoviendo un enfoque más sostenible y adaptado a las condiciones climáticas y geográficas del país. Este material está

redefiniendo el paisaje urbano chileno, marcando un hito en la transición hacia una construcción más ecológica y eficiente, posicionando a Chile como un referente en el uso de tecnologías avanzadas en madera Latinoamérica.

El sector de la construcción y las viviendas sociales, son un mecanismo crucial, que ayudaría a contribuir con una construcción de edificios de mediana altura más amigable con el medio ambiente en el país, además de entregar soluciones constructivas.

SOLO USO ACADÉMICO

MARCO TEÓRICO

El crecimiento de la población mundial ha causado un aumento de recursos para generar más viviendas y edificaciones en todo el planeta. Teniendo en cuenta que la industria de la construcción es responsable del 40 % de las emisiones de CO₂ del mundo, además, según la cámara chilena de la construcción, para el 2035, este país va a necesitar viviendas para 2,6 millones de personas, así lo señala el estudio “demanda de viviendas en suelo urbano”. Por lo que la construcción actual se ha visto en necesidad de implementar nuevas opciones de sistemas constructivos para satisfacer este déficit, además de los plazos de proyectos, colaborar con el medio ambiente, reducir costos y tiempo.

En países desarrollados, los sistemas prefabricados corresponden a las soluciones constructivas más solicitadas y que han llamado la atención, donde estos apuntan hacia diseños que se enfoquen en la funcionalidad según sea la vivienda.

Los sistemas prefabricados consisten en la creación de módulos o paneles hechos en fábrica en la cual se conforman las viviendas, estos módulos o paneles son transportados al lugar de la necesidad del cliente, para así, montar y unir estos módulos y/o paneles, a diferencia del sistema constructivo de hormigón armado, que es in situ, expuesta a diversas variantes no esperadas, mencionando ejemplos como el clima, accidentes laborales, ausencias de personal, entre otras variables que retardan el proceso constructivo.

Los beneficios de los sistemas prefabricados pueden ser diversos, siendo estos como la reducción de contaminación, reducción de tiempos de construcción, costos, entre otros factores. Además, estos sistemas no generan gran cantidad de residuos, donde el factor de pérdida de material es muy bajo, pero la finalidad de esta investigación se dirige al análisis de ciertas variables con los ejemplares existentes en Chile.

La industria de la construcción podría tener un buen rendimiento con el uso de sistemas constructivos en este caso de madera, material noble y renovable con la característica de capturar estas emisiones de CO₂. Hoy gracias a los avances de la tecnología la madera laminada, constituida por capas de tal manera generar pisos, muros techos de una estructura, por lo que ha generado una tendencia mundial donde Chile, no está siendo una excepción.

El avance de este sistema constructivo se ha hecho notar de tal forma, que según Fernando Marcone, subgerente de Arauco, desde el 2008, se han terminado 66 edificios en madera sobre 7 pisos, hay 18 en construcción y en febrero del 2022 ya existían 55 proyectos propuestos. Esta marca de Arauco ha sido elegida solución constructiva en distintas edificaciones, como, por ejemplo, se destaca la “casa 165” de PAR arquitectos. Llevando la madera a ambientes salinos, la cual este equipo logró reemplazar el acero como recurso principal, aprovechando la resistencia estructural y evitando la degradación en el tiempo.

El cross laminated timber (CLT), o madera laminada cruzada es un sistema constructivo innovador que ha ganado popularidad en los últimos años debido a sus características de sostenibilidad, eficiencia y rendimiento estructural. El CLT consiste en paneles formados por capas de madera dispuestas en ángulos rectos y unidas mediante adhesivos de alta resistencia. Este método permite construir estructuras de madera de gran tamaño y con propiedades estructurales comparables a las del concreto y el acero.

Chile, debido a su gran biodiversidad forestal y su compromiso con la sostenibilidad. Ha comenzado a explorar y adoptar el uso del CLT en la construcción. El país cuenta con extensas áreas de bosques de especies como pino y eucalipto, que son adecuadas para la producción de CLT. Además, este sistema se alinea con la visión chilena de promover la construcción verde y reducir la huella de carbono en la edificación.

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL

“Conocer las opciones de aplicación del CLT para la edificación en Chile.”

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir el CLT, propiedades y parámetros estructurales, características del sistema, su construcción y su montaje.
2. Dar a conocer ejemplos existentes de edificios de mediana altura del CLT en Chile.
3. Establecer variables que permitan conocer las capacidades de estos ejemplos en cuanto a parámetros estructurales, resistencia al fuego, eficiencia energética, tiempo y costo de construcción.
4. Elaborar cuadro comparativo desarrollado en base a las variables mencionadas junto a una propuesta económica de CLT.
5. Generar una conclusión para dar a conocer ventajas y desventajas de este sistema constructivo y que otro tipo de aplicaciones podría entregar este material CLT.

1. CAPÍTULO I: LA MADERA Y EL MATERIAL CLT:

Chile es un país forestal por tradición, uno de los principales productores de madera en el mundo, pero con una baja tasa de construcción en base a este recurso.

El uso de la madera para el desarrollo de viviendas, refiriéndose a Chile, que al ser uno de los países principales madereros de Latinoamérica, sus construcciones en madera equivalen a un 18% (INE 2016, Chile).

La construcción en madera está generando mucho movimiento en Europa y cada vez más cerca de que sea una realidad para el país de Chile, a pesar de que existen varios ejemplos de CLT en este país desde hace 13 años aproximadamente que se trabaja el CLT, en Chile se debería aprovechar la construcción en madera no solo por el material, sino por lo que aporta ya sea ambiental, térmica y estructuralmente, es por esto y más ventajas, por lo que en otros países de Europa ya es un sistema constructivo casi predeterminado.

En Chile, existen ejemplos de CLT en diversas zonas del país, como el ejemplo de la construcción del jardín infantil “los muñequitos” de una superficie de 942 m² de CLT ubicado en Cauquenes, en la región de Maule.

CLT, EL MATERIAL:

La madera contralaminada (CLT) es un material que se genera en forma de paneles compuestos de tablones, como pino, alerce y abeto, que son sostenibles y de rápido crecimiento, ya con la madera limpia, refiriéndose a ausencia de nudos y deformaciones, estos tablones con adhesivo estructural van colocados de manera perpendicularmente formando como una cruz, generalmente estos adhesivos son del tipo poliuretano o melamina-urea-formaldehído que proporcionan una fuerte adhesión y son resistentes al agua. Posterior se sigue con el proceso de prensado de los paneles que van apilados y son sometidos a presión hidráulica, donde se aplican a presiones para asegurar su adherencia entre sí, con un tiempo entre 30 minutos como varias horas. Dependiendo del espesor del adhesivo junto con su tipo. Una vez prensado los paneles, se procede a cortar según dimensiones sean del proyecto, para este corte se utilizan maquinas CNC (control numérico computarizado) para realizar cortes precisos, siendo estos como cortes de ventanas, puertas u otras aberturas necesarias. De ser necesario, los paneles se someten a un tratamiento superficial adicional, como lijado o aplicación de capas protectoras, para mejorar su resistencia al fuego, la humedad o exposición a plagas.

- **Diseño y planificación del proyecto:**

En la cual debe considerar tanto características del material como requisitos del edificio. Los arquitectos y diseñadores utilizan software de modelado 3D para planificar la estructura, asegurándose de que todos los elementos encajen perfectamente en el montaje final. Se prosigue con los sistemas eléctricos, calefacción, ventilación y aire acondicionado, usando los cortes necesarios para estas instalaciones.

- **Verificaciones de cálculos:**

Se realizan cálculos estructurales para asegurar que la estructura de CLT pueda soportar las cargas previstas, incluyendo las cargas sísmicas, que son relevantes en el país. Se definen los detalles de unión entre paneles, así como la conexión con otros elementos estructurales, como vigas de acero o cimentaciones de hormigón.

- **La logística y transporte:**

Se realiza tras la fabricación de los paneles, según las especificaciones exactas del proyecto. Este proceso reduce los tiempos de construcción en sitio, para luego ser llevados a al sitio donde se montará el proyecto.

Antes de hacer la instalación de los paneles CLT, se prepara las fundaciones según sea la necesidad del proyecto siendo estas aisladas o corrida. Posteriormente los paneles se levantan y colocan en posición usando grúas, estos se conectan entre si mediante sistemas de anclaje metálico, tornillos o pasadores, que aseguran una unión fuerte y

resistente. Las juntas entre paneles se sellan para asegurar hermeticidad y aislamiento térmico.

generando capas perpendiculares entre sí. Ya que, al poner las capas de esta manera, las fibras de la madera quedan en ambas direcciones, generando así, un trabajo bidireccional del material.

Actualmente el CLT es uno de los materiales que está en crecimiento positivo, ya sea para viviendas unifamiliares, edificios de gran altura, jardines escolares, entre otras construcciones.

Imagen n°1: “Panel de CLT”



Fuente: (xavier@elmerkat.com, 2022)

Imagen n°2: “CLT a la vista”



Fuente: (xavier@elmerkat.com, 2022)

1.1 Características:

El CLT reúne algunas especificaciones que lo convierten en un material a comparar con los existentes, sin perder cualidades necesarias para generar una construcción. Una de las principales características de este material es que es extraordinariamente sostenible, promoviendo a viviendas y/o edificios en colaboración con la absorción de gases de CO₂, la cual emiten los procesos constructivos de estructuras de hormigón armado.

Es crucial mencionar la capacidad estructural que posee este material, esto es debido a la forma que genera las capas cruzadas del CLT, como se mencionaba anteriormente su trabajo bidireccional es excelente estructuralmente, además, al ser un material muy ligero y que soporta la misma cantidad de carga, comparado con el hormigón armado, la estructura de CLT se sostiene en una cimentación de menor dimensión.

En el proceso de elaboración, se lleva a cabo una clasificación mecánica y visual de los tabloncillos utilizados, todo aquel defecto que pueda afectar la rigidez y estabilidad del material final por ejemplo como son las hendiduras y/o nudos, estos detalles afectan a la resistencia final del producto.

Para alcanzar la longitud deseada del panel, los tabloncillos tras ser cortados se ensamblan entre sí y van secados en un horno hasta alcanzar la adhesión de los tabloncillos. Como una ventaja respecto a otros sistemas prefabricados de madera, el CLT al colocar sus capas en sentido contrario de manera que sus vetas queden cruzadas, esto permite minimizar las deformaciones como la hinchazón por variación de humedad, además de aportar estabilidad dimensional y la elaboración de las capas colocadas en ambas direcciones lo transforma a un trabajo estructural bidireccional.

De esta forma, el desarrollo del CLT ha permitido, en la madera, el paso de la construcción lineal a la construcción en plano, es decir, que, a través de paneles prefabricados ensamblados, sobre una superficie cimentada, más el revestimiento final interior y exterior. Gracias a la laminación hoy en día es posible generar construcciones más altas, resistentes y seguras teniendo la madera como material principal.

Hasta hoy, se generan paneles con dimensiones máximas de 4m de ancho, 16m de largo y de un espesor entre 60 y 320mm, llegando a salvar luces entre 5 y 8m. es importante conocer las limitaciones técnicas en la madera en relación con las capacidades mecánicas y sus dimensiones, este sistema es idóneo para el tipo residencial.

La especie de madera más habitual usada en las principales obras de CLT en el país es de pino radiata, en el cual el pino representa el 97,2% de la producción nacional de madera aserrada. Principal destino, el mercado local, dejando en segundo lugar con un 1,4% al pino oregón, sin dejar de lado la importancia de la región del biobío, que concentra casi un 40% de la producción nacional.

En fabrica, todo material de residuo como el aserrín sobrante, debido a los cortes de las capas y los paneles, son procesados como coproductos o biomasa de manera que sirva para el auto abastecimiento de la maquinaria utilizada en la formación de los paneles, en este caso, sirve como combustible para los hornos de secado.

Además, uno de los parámetros más característicos de la madera, es su densidad que es mucho más baja comparándola con el hormigón, que va entre los 480-500 kg/m³ y con una ligereza entre 50 y 70 kg/m² según sea el espesor del panel.

Al ser un sistema prefabricado, las dimensiones de los elementos son mucho más precisas, con parámetros de error muy bajos, en cambio con el ejemplo del hormigón el factor humano está más propenso a errar en cuanto al diseño original de los planos, sin dejar de lado el recorte de ejecución en obra y el número de personal necesario. Otra ventaja existente, es la posibilidad de tener unos procesos de diseño, tiempo de ejecución y de fabricación fijos, al momento de tener el plano 3D de la estructura, puedes saber de antemano cuanto te va a acostar y cuanto se va a tardar en producir elementos constructivos, para tener una mejor efectividad al momento de la construcción.

Es importante además mencionar que la madera destaca como material aislante, lo cual hace que el producto CLT tenga un aislamiento térmico excepcional, por lo que evita los puentes térmicos y acústicos, para un mejor confort de privacidad.

1.2 Producción del material:

El proceso de producción de CLT se divide en 4 etapas:

1. Fabricación de láminas.
2. Formación de capas.
3. Prensado.
4. Acabado.

En la primera etapa, teniendo la madera aserrada, se procede a cepillar las láminas para garantizar una superficie uniforme.

Se prosigue con la clasificación de los elementos a partir de 2 variables, su aspecto visual y su resistencia mecánica. En esta etapa, las láminas que tengan defectos como lo son los nudos, se recorta esa sección para optimizar el material, las uniones de las láminas de forma longitudinalmente se realizan usando un ensamblaje de unión dentada.

Una vez unida cada lámina, se cepilla para mantener la superficie uniforme, finalmente se recorta cada lamina a la medida que se desea y se alinean para formar una capa.

Para la formación del tablero, se van sobreponiendo encoladas las capas alternando su dirección. Los adhesivos más comunes son el PUR (resina melamínico-urea-formaldehído), EPI (isocianato polimerizado en emulsión), MUF (melamina urea, formaldehído) y PF (fenol formaldehído).

Para continuar, se presionan las capas sobrepuestas de forma hidráulica. Esta presión suele ser del orden de 9 t/m². Las dimensiones de las prensas determinan el tamaño de los tableros.

Una vez prensado, se procede a cepillar imperfecciones generadas por la cola para obtener una superficie uniforme.

1.3 CONSTRUCCIÓN CON CLT (UNIONES, TORNILLOS, PLACAS):

Gracias a la composición de los paneles, se puede emplear de distintas formas, ya sea como elemento vertical, elemento horizontal, muro de cerramiento, muro de carga, etc. Estos paneles, según sea su finalidad, van conectados a la base de hormigón o entre los mismos paneles, para esto se utilizan anclajes, placas y tornillos en los cuales serán presentados a continuación:

- 1) Uniones entre paneles de CLT (Panel-Panel): Estas uniones se dan entre muros o entre muros y techos/pisos.

Tornillos autoperforantes (WS o WU): Son de acero galvanizado y vienen en diferentes longitudes (160-600 mm), dependiendo del espesor de los paneles a unir. Estos tornillos se colocan en un ángulo de 45° a 60° en las conexiones entre los paneles.

Conectores de chapa metálica (tipo placa): Se utilizan placas de acero galvanizado o inoxidable que se fijan con tornillos o pernos en las caras de los paneles CLT.

Tornillos autoperforantes cortos (120-160 mm) se emplean para estas uniones.

- 2) Uniones muro-suelo: Para conectar los paneles de CLT a las fundaciones o losas de hormigón, se suelen usar:

Placas base de acero: Estas placas se fijan a la base con pernos anclados en la fundación de hormigón y a los paneles CLT mediante tornillos autoperforantes.

Conectores tipo ángulo: Son elementos metálicos en forma de "L" que se colocan entre el panel CLT y la fundación.

Tornillos autoperforantes o pernos de anclaje de 10-20 mm de diámetro y pernos pasantes son típicos en estas uniones.

- 3) Uniones de esquina (Esquinas de muro): En las esquinas de los paneles de muro, las uniones son claves para la estabilidad de la estructura.

Tornillos autoperforantes angulados (45° o 60°): Se colocan en la intersección de los paneles en los extremos para asegurar una unión rígida.

Placas metálicas o perfiles angulares: Estas placas de acero galvanizado aseguran la conexión en las esquinas de los muros.

- 4) Uniones techo-muro: Estas uniones son esenciales para garantizar la transmisión de cargas y la estabilidad estructural.

Placas metálicas de sujeción (brackets): Fijan el panel del techo o piso al panel del muro con tornillos autoperforantes.

Tornillos inclinados: Tornillos autoperforantes largos (200-400 mm) se utilizan para fijar los paneles de CLT entre sí en ángulos que mejoran la resistencia.

- 5) Uniones de refuerzo sísmico (Zonas de alta sismicidad): En Chile, debido a las exigencias sísmicas, se refuerzan las uniones de los edificios CLT con conectores específicos:

Anclajes sísmicos (hold-downs): Son conectores de acero reforzado que se fijan a la base de los muros y al suelo para evitar deslizamientos o rotaciones durante un sismo.

Los pernos de anclaje de gran diámetro (12-20 mm) se usan con estos conectores.

Placas de acero adicionales: Refuerzan las uniones en áreas críticas, como las intersecciones de muros y pisos.

- 6) Uniones de piso (Paneles de techo/piso): Las uniones entre paneles de piso y entre piso y muro son fundamentales para la rigidez horizontal.

Tornillos de doble rosca: Especialmente diseñados para unir los paneles CLT del piso con el muro, brindando una mayor resistencia al deslizamiento.

Placas planas metálicas: Se usan junto con los tornillos para asegurar las conexiones horizontales.

Tipos de tornillos, pernos y conectores

Tornillos autoperforantes de rosca completa: Estos tornillos están diseñados específicamente para madera maciza y laminada, con diámetros de 6 a 14 mm y longitudes de 100 a 600 mm, dependiendo de la aplicación.

Pernos pasantes: De 10-20 mm de diámetro, se usan para uniones de mayor carga, como en conexiones muro-piso o en las esquinas de muros.

Placas de acero galvanizado o inoxidable: De distintos espesores (2-5 mm), son clave en la unión de componentes CLT.

Conectores tipo ángulo (ángulos metálicos): En secciones críticas como esquinas o uniones muro-piso, a menudo se fijan con tornillos o pernos.

Anclajes químicos o mecánicos: Usados para fijaciones en las fundaciones de hormigón.

Normativas aplicables en Chile:

Es importante que las uniones y fijaciones cumplan con las normativas sísmicas y de construcción, como la Norma Chilena NCh1198 (Diseño de estructuras de madera) y la NCh433 (Diseño sísmico de edificios), lo que garantiza que la estructura resista las fuerzas generadas por un terremoto.

Marcas y proveedores

Algunas marcas internacionales de tornillos y fijaciones usadas en Chile incluyen SFS Intec, Simpson Strong-Tie, y Heco. Estos proveedores ofrecen productos específicos para CLT y madera en general, adaptados a los requisitos estructurales locales.

Estas soluciones se seleccionan en función de las características del proyecto, como las cargas esperadas y las condiciones sísmicas.

7) Conexión entre paneles de CLT:

Las conexiones entre paneles de CLT pueden realizarse mediante una variedad de métodos que aseguran estabilidad y resistencia estructural.

a) Tornillos autoperforantes (self tapping screws):

Los tornillos se utilizan principalmente para unir paneles CLT entre sí. Con una medida entre 8 y 12 mm. De diámetro con un largo dependiendo del proyecto.

Existen tornillos tipo HECO-TOPIX que son específicamente para madera, con alta capacidad de carga y disponibles en longitudes que varían según el CLT. También existen los SIMPSON-STRONG TIE que ofrecen alta resistencia a la tracción y al corte, ideales para conexiones de ángulos.

b) Placas de conexión (connection plates)

Las placas de acero galvanizado se usan para unir paneles de CLT en las esquinas o en la unión de paredes y techos, estas van sujetas con tornillos de alta resistencia.

c) Uniones machihembradas (tongue and Groove)

En algunos diseños, se utilizan uniones machihembradas donde los paneles CLT están diseñados para encajar entre sí, esto proporciona una mayor estabilidad y resistencia a la flexión.

Cualquier borde del machihembrado del panel puede estar ranurado para recibir una lengüeta de otro panel. A veces es necesario el uso de adhesivo estructural, pero eso solo dependiendo del diseño del proyecto.

8) Tornillos y anclajes del CLT:

Como se mencionaba anteriormente existen los tornillos Hecotopix que van directamente donde se necesita más resistencia, están los Simpson strong tie que aportan para la tracción y al corte, utilizados en conexiones críticas.

Se conocen los pernos de anclaje (anchor bolts) que son utilizados para anclar las placas de acero o ángulos a base de hormigón.

Por otro lado, se encuentran los pernos epoxi, que son insertados en la fundación de hormigón con adhesivo epóxico para una conexión más segura.

Además, existen los anclajes mecánicos como los ángulos de acero que se usan para conexiones en esquinas o donde se requieren refuerzos adicionales y las placas de conexión que son usadas para unir paneles en ángulos o en uniones de paredes y techos.

Las conexiones de los paneles CLT, tanto entre ellos como en fundaciones, son fundamentales para asegurar integridad estructural y el rendimiento del edificio. Utilizar los métodos adecuados, como los tornillos autoperforantes, placas de acero y anclajes de base, son clave para cualquier proyecto de CLT.

9) Montaje con CLT:

a) Preparación del sitio:

Se generan las fundaciones según sea las especificaciones del proyecto, una vez estando completamente lisas y niveladas, ya que es crucial para un montaje exitoso. Posterior, se llevan los paneles ya listos al lugar de destino para ser almacenados en un lugar seco y protegido, asegurando que no estén expuestos a condiciones climáticas.

b) Pre- montaje:

Antes de montar los paneles, se puede preinstalar algunos accesorios como las placas de anclaje o soportes, lo que acelera el proceso en el sitio. Se trazan los paneles según proyecto, indicando posiciones y orientaciones correctas para facilitar la instalación.

c) Proceso de Montaje:

Se realiza el levantamiento los paneles mediante grúas, dándoles posición con precisión en el lugar correcto. Es crucial utilizar equipos de elevación adecuados

que soporte el peso de los paneles sin dañarlos. Estos mismos se alinean según las marcas preestablecidas y van colocados sobre las fundaciones o sobre paneles. Van fijados a la fundación mediante los pernos de anclaje o placas de acero, según sea lo indicado por los planos.

d) Conexión entre paneles:

Se realiza con tornillos autoperforantes a placas de acero o ángulos, así garantizar resistencia estructural y estabilidad en las cargas. Todas las juntas que hay entre paneles se deben sellar para mejorar las propiedades térmicas y acústicas de la estructura.

e) Verificación y ajustes:

Durante el montaje, se verifican los niveles y alineación de los paneles para asegurar precisión, se realizan los últimos ajustes. También se revisa y ajustan las conexiones estructurales para asegurar que todas las uniones esta firmes y cumplen con las especificaciones del diseño.

10) Integración de Instalaciones y acabados:

Durante el montaje, los paneles vienen con una cantería para las instalaciones eléctricas, de plomería, calefacción, ventilación y aire acondicionado, estos servicios se integran de manera que no interfieran con la integridad estructural del CLT.

a) Acabados interiores:

Después del proceso de montaje estructural, se procede con los acabados interiores. La superficie de CLT puede quedar expuesta como parte del diseño, o bien ser revestida con otros materiales como yeso o madera.

b) Acabados exteriores:

Se utilizan membranas impermeables, revestimientos y aislamiento a adicional si es necesario.

11) finalización y revisiones:

a) Inspección final y control de calidad:

Se realiza la última inspección para asegurar que toda la estructura cumple con la normativa, diseño, y estándares de seguridad. Se pueden realizar pruebas adicionales, como la verificación de la resistencia al fuego, la estanqueidad del aire y agua, entre otros.

b) Documentación y entrega:

Se actualizan los planos finales con las condiciones reales del montaje (as built) registrando cualquier cambio o ajuste realizado durante la construcción. Finalmente, la estructura se entrega al cliente con toda la documentación necesaria para la operación o mantenimiento.

Este proceso de montaje de CLT, está diseñado para ser eficiente, preciso y seguro, aprovechando las ventajas de la prefabricación y la simplicidad de las conexiones mecánicas. Al seguir estos pasos, se garantiza que la estructura CLT, cumpla con los más altos estándares de calidad.

EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS CLT EN CHILE:

1) EDIFICIO TAMANGO:

En Chile, desde hace más de una década que se ha estado construyendo en CLT, es por esto, que las estructuras son cada vez más complejas, como por ejemplo uno de los primeros edificios, en este caso a hablar, el edificio Tamango ubicado en la región de Aysén, en Coyhaique, destaca gracias a este sistema.

Este edificio, fue un proyecto pionero en el país que refleja una creciente adopción a la madera como material estructural en edificaciones de mediana altura. A continuación, se describen en detalle sus características clave, con un enfoque absoluto del CLT y su resistencia al fuego.

a) Características:

Principalmente está compuesto por CLT la mayoría de la estructura vertical y horizontal, siendo estos, paredes, pisos, techos. La disposición de los paneles está diseñada para maximizar la resistencia estructural y la estabilidad del edificio en una zona con alta actividad sísmica, como lo es la región de los Lagos en Chile.

Las dimensiones de los paneles varían según el proyecto lo indique, lo cual varía entre 100 y 300 mm de espesor.

Sus conexiones son como fue mencionado anteriormente mediante placas de acero, pernos de anclaje, ángulos, tornillos autoperforantes, sin contar las herramientas necesarias.

Respecto a su forma de construcción sostenible y al ser un material sostenible, al ser una madera certificada y gestionada de una manera correcta colabora significativamente con la huella de carbono en comparación con materiales de la construcción más comunes como el hormigón y el acero.

Sin dejar de mencionar su resistencia al fuego, es notablemente superior a la madera tradicional, esto es debido a su diseño en capas y la masa considerable de los paneles. Cuando se expone al fuego, las capas exteriores se carbonizan y forman una barrera protectora que aísla el interior del panel, reduciendo la propagación del fuego. Este proceso de carbonización permite que el CLT mantenga su capacidad estructural durante

más tiempo en caso de incendio. En el caso del tiempo de propagación, los paneles pueden resistir en función a sus espesores y número de capas más de 60 a 90 minutos, lo que es suficiente para la evacuación en caso de emergencias.

El diseño contra incendios del edificio incorpora varias estrategias para mejorar la resistencia al fuego como:

- a) Protección pasiva: Además de las propiedades naturales del CLT, se utilizan revestimientos adicionales, como placas de yeso, para aumentar la resistencia al fuego de las paredes y techos. Estos revestimientos pueden aumentar significativamente el tiempo que las estructuras de CLT pueden soportar un incendio.
- b) Sección de carbonización: Durante la planificación del edificio, se consideraron las tasas de carbonización del CLT para asegurar que las dimensiones de los paneles fueran suficientes para mantener la integridad estructural incluso después de que las capas exteriores se carbonicen.
- c) Normativas y cumplimiento: El edificio cumple con las normativas chilenas sobre resistencia al fuego, que son particularmente rigurosas debido a la naturaleza sísmica y climática del país.

Además de estas estrategias mencionadas recientemente, el edificio Tamango también estableció sistemas de seguridad y control los cuales son:

- a) Rociadores automáticos: El edificio está equipado con un sistema de rociadores automáticos que se activan en caso de detección de humo o altas temperaturas, ayudando a controlar la propagación del fuego.
- b) Detectores de humo y alarmas: Se han instalado detectores de humo en todas las áreas clave del edificio, conectados a un sistema de alarma que alerta a los ocupantes en caso de emergencia.
- c) Vías de escape y señalización: El diseño incluye vías de escape bien señalizadas y accesibles, que permiten la evacuación rápida y segura de los ocupantes en caso de incendio.

Este edificio en particular es un proyecto innovador que sirve como referencia para futuras construcciones en madera en Chile y otros países. La combinación de CLT y tecnologías avanzadas en resistencia al fuego demuestra que la madera puede ser opción viable y segura para la construcción de edificios de varios pisos, incluso en regiones con altos riesgos sísmicos y de incendios, esta estructura emblemática da el ejemplo de cómo avanza la tecnología del CLT, cuando se combina con un diseño adecuado y medidas de seguridad contra incendios, puede ofrecer una solución estructural resistente, sostenible y segura para edificaciones modernas.

2) EDIFICIO BURGOS:

El edificio Burgos, ubicado en Providencia, es un proyecto significativo que está enfocado en ser sostenible y en cumplir estándares avanzados de la eficiencia energética incluyendo la meta de ser un edificio “Net Zero”.

El área está caracterizada por una mezcla de edificios residenciales y comerciales, lo que lo convierte al proyecto en un elemento crucial de integración de soluciones arquitectónicas sostenibles en un entorno urbano denso.

a) Características:

El propósito de esta construcción está diseñado para ser eficiente energéticamente y sostenible en Chile. Se espera que cumpla con los estándares Net Zero, lo que significa que generará tanta energía como la que consumirá. Se trata de un edificio de mediana altura, diseñado con pisos tanto comerciales como residenciales. Combina elementos modernos con un enfoque de sostenibilidad como ventanales grandes y sistemas de fachadas que permiten maximizar la entrada de luz natural, reduciendo la necesidad de luz artificial.

b) Materiales y tecnologías:

Se están utilizando materiales avanzados que incluyen hormigón de baja emisión de carbono, sistemas de aislamiento térmico de alta eficiencia y tecnología CLT para la mayoría de la estructura interior.

El edificio incorporará paneles solares en el techo, junto con un sistema de recolección de agua de lluvia y tecnologías de gestión de energía que optimizan el uso de recursos en tiempo real. Se están implementando técnicas de construcción modular, la prefabricación para mejorar la eficiencia y disminuir los residuos en el sitio.

Actualmente, la estructura se encuentra en proceso de la construcción principal de este edificio, con grúas para acelerar el montaje.

Las instalaciones eléctricas, mecánicas y plomería están siendo instalados paralelamente a la construcción principal, lo que minimiza las interferencias y permite una integración eficiente.

El edificio ha avanzado significativamente en su construcción, con gran parte estructural ya finalizada. Los trabajos actuales principalmente son respecto a la fachada, sistemas energéticos, con un fuerte énfasis en alcanzar la meta de eficiencia energética.

Respecto a la sostenibilidad y eficiencia de este edificio, el uso de paneles solares es clave en su diseño, se espera que una parte significativa de la energía requerida para las operaciones del edificio provenga de fuentes renovables. Además, el edificio contará con un sistema de gestión energética avanzado que monitoreará y ajustará consumo en tiempo real para optimizar la eficiencia para cumplir con el concepto de Net Zero.

c) Resistencia al fuego:

Este ejemplo también cuenta con una carbonización controlada, uno de los mejores aspectos del CLT que se mencionaba anteriormente, el cual se refiere al momento de exponerse al fuego, las capas exteriores del CLT se carbonizan, creando una protección a las capas interiores, la cantidad de capas y el espesor de ellas influye en este efecto denominado carbonización controlada, por lo que este edificio está comprometido a resistir hasta 90 minutos sin que colapse la estructura.

A pesar de las propiedades naturales de resistencia al fuego que posee el CLT, en el edificio Burgos se utilizan revestimientos adicionales en las áreas más críticas. Los revestimientos de yeso ignífugo y placas de aislamiento protegen las superficies expuestas y ayudan a retardar la propagación del fuego en las paredes y techos.

Además de la resistencia pasiva que tiene el edificio, también está equipado con sistemas activos, como rociadores automáticos, detectores de humo y alarmas. Estos sistemas se activan rápidamente para controlar incendios antes de que puedan afectar significativamente la estructura.

Uno de los desafíos principales ha sido la implementación de la tecnología avanzada en un entorno urbano denso, de lo que ha requerido soluciones innovadoras para la logística y construcción. Se espera que el edificio Brugos se convierta en un referente de la construcción sostenible en Chile, mostrando cómo es posible integrar tecnologías avanzadas de sostenibilidad en desarrollos urbanos complejos.

Este proyecto sigue en curso, se espera que la construcción siga avanzando estos próximos meses hasta alcanzar su finalización, cumpliendo con todas las expectativas en términos de sostenibilidad, eficiencia energética y diseño arquitectónico.

SOLO USO ACADÉMICO

2. CAPITULO 2: VARIABLES

En este segundo capítulo, se presentarán las variables del CLT como es en Chile, el uso de CLT (Cross Laminated Timber) en Chile considerando las variables: costo, tiempo, capacidad estructural y sostenibilidad:

1. Costo

El costo del CLT en Chile se ve influenciado por varios factores específicos del contexto local:

- **Producción Local vs. Importación:** En Chile, el CLT todavía no es tan común como en algunos países europeos, a pesar de tener más de una década en Chile, con ejemplares mencionados anteriormente, por lo que ciertos casos, se importa desde otros lugares. Esto puede aumentar el costo debido al transporte y los aranceles. Sin embargo, la creciente demanda y el desarrollo de capacidades locales podrían reducir estos costos en el futuro.
- **Materias Primas y Procesos:** Chile es un gran productor de madera, especialmente de pino y eucalipto, que son adecuados para la producción de CLT. La disponibilidad de madera local puede ayudar a reducir los costos de las materias primas en comparación con otros países que dependen de la importación de madera.
- **Economías de Escala:** A medida que el mercado del CLT en Chile crezca y más empresas se especialicen en su producción, es probable que los costos bajen debido a economías de escala y mejoras en la tecnología y procesos de fabricación.

2. Tiempo

El tiempo en la construcción con CLT en Chile también presenta ventajas y consideraciones específicas:

- **Construcción Rápida:** Al igual que en otros lugares, el CLT permite una construcción rápida gracias a la prefabricación. Los paneles llegan al sitio de construcción listos para ensamblar, lo que reduce significativamente el tiempo de obra en comparación con métodos tradicionales que requieren más tiempo para curar y montar estructuras.

- **Adaptación Local:** La velocidad de montaje también puede verse afectada por la experiencia de los equipos locales con CLT. En Chile, aunque el uso de CLT está creciendo, la experiencia y capacitación en técnicas específicas de montaje pueden variar. La formación adecuada y la familiarización con el material ayudarán a optimizar los tiempos de construcción.

3. Capacidad Estructural

El CLT tiene una capacidad estructural que es particularmente valiosa en la construcción en Chile:

- **Resistencia y Flexibilidad:** El CLT es muy resistente y flexible, lo que permite su uso en una variedad de tipos de edificaciones, incluyendo edificios de varios pisos. Esto es especialmente relevante en Chile, donde se requieren soluciones que puedan resistir sismos, ya que el CLT puede ser diseñado para ofrecer una buena resistencia sísmica.
- **Adaptabilidad:** La capacidad del CLT para ser cortado y adaptado a diferentes formas y tamaños también permite una gran flexibilidad en el diseño arquitectónico, lo que es beneficioso en un país como Chile, con una rica diversidad de estilos y necesidades arquitectónicas.

4. Sostenibilidad

La sostenibilidad del CLT es un aspecto que encaja bien con los objetivos ambientales de Chile:

- **Uso de Recursos Renovables:** Chile tiene vastos recursos forestales, y el CLT utiliza madera, un recurso renovable. Si la madera proviene de bosques gestionados de manera sostenible, el uso de CLT puede contribuir positivamente a la sostenibilidad ambiental.
- **Reducción de Huella de Carbono:** La madera almacena carbono durante su crecimiento, y al usar CLT, se contribuye a la reducción de dióxido de carbono en la atmósfera. Este aspecto es particularmente relevante dado el compromiso de Chile con la reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero.

- **Eficiencia Energética:** Los edificios construidos con CLT suelen tener buenas propiedades de aislamiento térmico, lo que puede reducir el consumo de energía para calefacción y refrigeración. Dado el creciente interés de Chile en la eficiencia energética y la reducción de su huella de carbono, el CLT ofrece una opción viable para construir de manera más ecológica.

5. Resistencia al fuego

- **Comportamiento frente al fuego:** Cuando el CLT se expone a altas temperaturas, la capa superficial de madera comienza a carbonizarse. Esta carbonización forma una capa aislante que reduce la velocidad de penetración del calor hacia las capas internas. En términos simples, la madera quema lentamente desde afuera hacia adentro, y las capas internas permanecen estructuralmente estables por más tiempo.

El CLT tiene la ventaja de que su grosor puede ser ajustado durante la fabricación, lo que permite diseñar estructuras que ofrezcan un comportamiento específico frente al fuego. En general, cuanto mayor es el espesor de los paneles, mayor es su resistencia al fuego.

- **Tiempo de colapso:** El tiempo que toma para que una estructura de CLT colapse en un incendio depende en gran medida del diseño, las condiciones del incendio y las medidas de protección pasiva que se hayan tomado. En condiciones controladas, se ha demostrado que los paneles de CLT pueden mantener su integridad estructural durante más de 90 minutos. En algunos casos, se ha registrado un tiempo de resistencia de hasta 120 minutos.

Es importante señalar que, en Chile, las normativas de construcción con CLT están evolucionando, se han llevado a cabo diversas pruebas para ajustar los estándares locales de resistencia al fuego. El uso de CLT en combinación con otras tecnologías, como sistemas de rociadores automáticos y barreras ignífugas, puede prolongar aún más el tiempo antes de colapsar, proporcionando a los ocupantes tiempo suficiente para evacuar de manera segura.

- **Estándares:** En cuanto a las pruebas en Chile, sigue las normativas internacionales, como el Eurocodigo 5 y el ISO 834. En las pruebas realizadas en estructuras en Chile, los paneles de CLT han superado los tiempos mínimos de resistencia al fuego exigidos por la normativa nacional, lo que los convierte en

una opción viable para edificios de hasta seis pisos, como lo estipula la legislación actual.

El CLT tiene una excelente resistencia al fuego debido a su capacidad para formar una capa protectora de carbón en su superficie, y su comportamiento puede ser optimizado dependiendo del diseño y espesor del material. Los ejemplos en Chile han demostrado que es posible alcanzar tiempos de resistencia superiores a los 90 minutos, lo que lo convierte en una opción segura y sostenible para la construcción moderna.

Estos paneles en Chile presentan tanto oportunidades como desafíos. Aunque el costo inicial puede ser más alto debido a la necesidad de importar material y a la limitada capacidad de producción local en el momento, el uso de madera local y las ventajas en términos de tiempo de construcción, capacidad estructural y sostenibilidad hacen que el CLT sea una opción prometedora para el futuro de la construcción en el país. A medida que el mercado se desarrolla y aumenta la adopción de CLT, es probable que veamos mejoras en estos aspectos, beneficiando a la industria de la construcción en Chile.

SOLO USO ACADÉMICO

3. CAPITULO 3: ANÁLISIS COMPARATIVO:

Para comenzar con un análisis definiremos el edificio a comparar con el nombre de “Nueva era”, ubicado en Renca.

El Edificio "La Nueva Era" ubicado en Paula Jaraquemada 1560, Renca, Santiago de Chile, es un proyecto habitacional desarrollado por la Constructora Oval y destinado a vivienda social. El proyecto, que comenzó en octubre de 2022 con la colocación de la primera piedra, consta de 105 departamentos distribuidos en cuatro bloques de cinco pisos cada uno. La superficie total del terreno es de 6,283.43 m², y las viviendas varían entre 59 y 69 m², dependiendo del tipo de departamento (Constructora Oval).

Características del Proyecto

El edificio está compuesto por:

Unidades habitacionales: 101 departamentos estándar y 4 diseñados para personas con movilidad reducida.

Superficie construida: Cada departamento tiene aproximadamente 60 m².

Servicios: Incluye una sede social de 75.5 m², una plaza central y un circuito deportivo.

Estacionamientos: 67 estacionamientos disponibles para los residentes.

Proceso de Construcción y Costos

El proyecto se desarrolló como parte de una iniciativa del SERVIU Metropolitano para brindar soluciones habitacionales a familias de bajos ingresos. La construcción, desde su inicio en octubre de 2022, incluyó la participación de las comunidades locales, y su diseño se enfocó en crear un entorno comunitario y funcional. Sin embargo, no se han publicado detalles exactos de los costos de construcción.

Resistencia al Fuego y Sostenibilidad

El edificio fue diseñado con estándares de construcción en hormigón armado, un material que ofrece una alta resistencia al fuego y una estabilidad estructural robusta. No se especificaron detalles adicionales sobre certificaciones específicas en resistencia al fuego.

Contexto Social

Este proyecto tiene un trasfondo social importante, ya que surgió a partir de una lucha comunitaria para acceder a viviendas dignas. El comité de vecinos "Una Nueva Era" se tomó el terreno en 2018 para exigir la devolución de la propiedad, ya que muchos de los actuales residentes aseguran que el predio pertenecía a sus familias antes de la dictadura (Radio Universidad Chile).

En resumen, el edificio "La Nueva Era" es un ejemplo de un proyecto de vivienda social construido con hormigón armado que se centra en crear soluciones habitacionales sostenibles y de alta calidad para la comunidad local.

Para continuar con el Análisis Comparativo entre: Edificio Tamango, Edificio Burgos y Edificio "La Nueva Era", se realizará una mención de las variables definidas anteriormente para concluir con el cuadro comparativo.

1. Costo de Construcción

Edificio Tamango: Se construyó utilizando CLT (Cross Laminated Timber), un material que generalmente implica un costo inicial más alto comparado con métodos tradicionales, pero se reduce en otros aspectos como transporte y mano de obra debido a la rapidez del montaje. El costo del edificio no se ha revelado públicamente, pero se estima que fue más alto que el de edificaciones similares en hormigón debido a la novedad del material y las técnicas de construcción.

Edificio Burgos: También se construyó con CLT, y siendo aún un proyecto en desarrollo, se espera que el costo sea similar o ligeramente menor al de Tamango, ya que los equipos involucrados han ganado experiencia y optimizado el proceso en Chile. Sin embargo, al ser un proyecto más alto y de mayor complejidad, los costos totales pueden ser mayores.

Edificio "La Nueva Era" (Renca): Fue construido con hormigón armado, un método convencional en Chile. Este tipo de construcción tiene un costo más controlado y predecible, en especial para proyectos sociales. En el caso del conjunto habitacional "Nueva Era", el enfoque estuvo en mantener la asequibilidad sin comprometer la calidad. Alrededor de 105 departamentos fueron construidos, cada uno de aproximadamente 60 m², con una envolvente térmica para mejorar la eficiencia energética.

2. Tiempo de Construcción

Edificio Tamango: Al ser un edificio de menor altura y utilizar CLT, su tiempo de construcción fue relativamente corto comparado con métodos tradicionales. El uso de CLT reduce el tiempo de ensamblaje en comparación con el hormigón debido a la prefabricación de paneles.

Edificio Burgos: La construcción aún está en curso, pero se ha destacado la velocidad de montaje de los paneles prefabricados de CLT. Una vez que se completan las fundaciones, el montaje de los niveles en CLT es rápido, reduciendo significativamente el tiempo de construcción global.

Edificio "La Nueva Era": Los tiempos de construcción fueron extendidos debido a la burocracia y el proceso de regularización del terreno, que se prolongó durante años antes de iniciar la edificación. El tiempo efectivo de construcción del edificio fue estándar para un proyecto de viviendas en hormigón armado, tomando varios meses, especialmente para asegurar que la estructura cumpliera con los requisitos de habitabilidad y seguridad estructural.

3. Capacidad Estructural

Edificio Tamango: El CLT permite una excelente capacidad estructural para edificios de altura media. La ligereza del material lo hace ideal para construcciones en zonas sísmicas, como Chile, ya que reduce la carga sísmica total de la estructura.

Edificio Burgos: Siendo un edificio más alto y complejo, Burgos ha utilizado un sistema mixto de CLT y acero para aumentar su capacidad estructural, lo cual es una combinación eficiente para alturas superiores en madera. Esto refuerza la resistencia frente a cargas laterales y asegura la estabilidad del edificio en eventos sísmicos.

Edificio "La Nueva Era": Al ser de hormigón armado, su capacidad estructural es alta y bien comprendida en la ingeniería chilena. El hormigón es conocido por su alta resistencia y durabilidad, especialmente en edificios que requieren soportar cargas pesadas y garantizar la estabilidad a largo plazo.

4. Sostenibilidad

Edificio Tamango y Burgos: El CLT es un material sostenible, ya que el proceso de fabricación captura carbono y reduce la huella de carbono del edificio comparado con el concreto. Los edificios que utilizan madera laminada tienen un menor impacto ambiental

y son renovables, lo que los convierte en una opción ecológica en la construcción urbana.

Edificio "La Nueva Era": Aunque se utilizó hormigón armado, el edificio incorporó elementos sostenibles como una envolvente térmica y ventanas termo panel para reducir la demanda de energía de calefacción y enfriamiento. Sin embargo, el hormigón en sí es menos sostenible debido a la alta emisión de CO₂ durante su producción.

5. Resistencia al Fuego

Edificio Tamango: El CLT tiene una buena resistencia al fuego debido a su comportamiento de carbonización, que forma una capa protectora en la superficie, retardando la penetración del calor y manteniendo la integridad estructural por más tiempo.

Edificio Burgos: La estructura de Burgos se ha diseñado específicamente para cumplir con estrictos estándares de seguridad contra incendios. Se han utilizado paneles CLT tratados para mejorar su resistencia al fuego, cumpliendo con los requisitos del Código de Construcción Chileno.

Edificio "La Nueva Era": El hormigón es naturalmente resistente al fuego y no se deforma ni colapsa fácilmente bajo altas temperaturas. Esta resistencia intrínseca hace que sea una opción segura para proyectos habitacionales.

Tabla n°1: “Cuadro comparativo”

Variable	Edificio La Nueva Era	Edificio Tamango	Edificio Burgos
Ubicación	Paula Jaraquemada 1560, Renca, Santiago, Chile	Coyhaique, Aysén.	Providencia, Santiago, Chile
Material Principal	Hormigón Armado	CLT (Cross Laminated Timber)	CLT (Cross Laminated Timber) y acero
Costo de Construcción	Costo controlado por ser vivienda social	Mayor que el hormigón debido a la novedad del CLT	Similar al de Tamango; potencialmente más alto debido a su complejidad y altura.
Superficie Total	6,283.43 m ²	4165 m ²	3000 m ²
Cantidad de Pisos	5 pisos	5 pisos	4 pisos
Cantidad de Departamentos	105	23	9
Tiempo de Construcción	Prolongado por la regularización del terreno	Corto, reducido por la rapidez de montaje del CLT	Montaje rápido con CLT, aún en desarrollo
Capacidad Estructural	Alta capacidad y estabilidad en hormigón	Ligero y eficiente para edificios de altura media	Sistema mixto CLT y acero para mayor estabilidad
Sostenibilidad	Incorporación de envolvente térmica y ventanas termo panel, pero menos sostenible por el uso de hormigón	Uso de CLT, reduce la huella de carbono	CLT con bajo impacto ambiental y reducción de emisiones de CO ₂
Resistencia al Fuego	Alta, el hormigón no colapsa fácilmente con altas temperaturas	Buena resistencia por carbonización de la madera	Mejorada con tratamientos, cumple con normativas chilenas
Contexto Social	Proyecto de vivienda social en respuesta a lucha comunitaria	Innovador uso de CLT para probar métodos alternativos de construcción	Primer edificio de altura en CLT, relevante para la evolución de la tecnología en Chile

Fuente: elaboración propia.

El CLT ha demostrado ser una alternativa viable en Chile para edificaciones de altura media como Tamango y Burgos, debido a su capacidad estructural y rapidez de construcción. Sin embargo, en términos de costo, todavía es menos competitivo que el hormigón armado para proyectos de vivienda social como "La Nueva Era". La resistencia al fuego del CLT ha sido mejorada con tratamientos, pero sigue siendo inferior al hormigón en su estado natural.

Por lo tanto, aunque el CLT puede considerarse una buena opción para edificaciones más grandes y complejas, su aplicación aún depende de factores como la ubicación, tipo de edificación y consideraciones de costo a largo plazo. Si la tendencia actual continúa, con más experiencia y economías de escala, es posible que el CLT se convierta en una superestructura viable para proyectos mayores en Chile.

SOLO USO ACADÉMICO

COSTO DEL CLT:

Si bien ya teniendo noción de que el material es de un costo un poco más elevado, se procederá a conocer los valores de la empresa TECTON, empresa dedicada a la construcción del edificio Burgos, especialistas en CLT y madera laminada:

Imagen n°3: “Costo CLT”

LOSACL60mm		M2	1	\$328.915	1,00	\$328.915
CLT 60mm	SC	m3	0,12	\$1.128.132	1,00	\$135.376
Madera laminada (Viga)	MAT	m3	0,045	\$1.128.132	2,00	\$50.766
Aislación 100+160	MAT	m2	1	\$7.198	1,00	\$7.198
Terciado estructural 15mm	MAT	m2	1	\$6.785	2,00	\$6.785
Herramientas y elementos de sujeción	MAT	%	0,1	\$257.677	1,00	\$25.768
Pérdida	MAT	%	0,05	\$46.537	1,00	\$2.327
Carpintero	MO	hd	0,15	\$47.619	4,00	\$7.143
Leyes sociales	MO	%	0,51	\$28.571	1,00	\$14.571

Imagen n°4: “Consideraciones”

considerar placa de 6 cm 1x1x0,6
considerar 02 un vigas MLE 90x250mm en una seccion de 1mx1m
considerar aislación de 10 cm +16cm
considerar 02 un placas de terciado estructural de 15mm
evaluar costos de sujeciones

Imagen n°5:” Costos auxiliares”

Elementos de madera laminada (pilares. Vigas) : 30UF/m2
Conexiones metalicas 16UF por m3 de madera laminada
Losa CLT según paquete estructural adjunto 8,75UF/m2

Imagen n°6: “Costo primera planta de CLT”

1era planta edificio "Condominio santa fe", ubicado en Av. Mapocho 8250, Santiago				
Partida	Unidad	Cantidad	Precio unitario	
LOSA CLT	M2	292,22	\$ 328.915	\$ 96.116.133
MUROS CLT	M2	171,07	\$ 328.915	\$ 56.268.147
CONECTORES	M3	92,66	\$ 576.000	\$ 53.371.446
				\$ 205.755.726

Fuente: Elaboración propia.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS

En cuanto al análisis de estos 3 ejemplares construcciones chilenas, se darán a conocer apuntes de las variables:

Costo de construcción:

El CLT (madera contralaminada) utilizado en los Edificios Tamango y Burgos implica un costo inicial más alto en comparación con métodos tradicionales como el hormigón usado en "La Nueva Era". Sin embargo, a largo plazo, los costos de montaje y transporte se reducen debido a la rapidez en el ensamblaje de los paneles prefabricados de CLT. El Edificio "La Nueva Era", al ser un proyecto de vivienda social, prioriza costos controlados utilizando hormigón armado, un material tradicional con costos más estables.

Tiempo de construcción:

Los proyectos con CLT (Tamango y Burgos) presentan una ventaja considerable en la reducción del tiempo de construcción debido a la prefabricación. El montaje es rápido en comparación con el hormigón, que requiere más tiempo debido al curado y a otros factores. En cambio, "La Nueva Era" experimentó retrasos en el proceso de regularización del terreno y tiempos de construcción más prolongados, característicos del uso de hormigón armado.

Capacidad estructural:

El CLT ha demostrado ser una opción estructuralmente eficiente para edificios de mediana altura, como en los casos de Tamango y Burgos. Su ligereza y capacidad para absorber cargas sísmicas lo convierten en una solución viable en un país sísmico como Chile. Por otro lado, "La Nueva Era", construido en hormigón armado, sigue siendo una solución robusta y estable, aunque menos innovadora en términos de peso y flexibilidad.

Sostenibilidad:

El uso de CLT en los edificios Tamango y Burgos resalta por su contribución a la sostenibilidad. Al ser un material renovable y de bajo impacto ambiental, reduce significativamente la huella de carbono en comparación con el hormigón. "La Nueva Era" también busca elementos sostenibles, como una envolvente térmica y ventanas termo panel, pero la naturaleza del hormigón implica mayores emisiones de CO₂ durante su producción.

Resistencia al fuego:

El CLT presenta una resistencia al fuego adecuada gracias a la carbonización de las capas exteriores, que protege las capas internas. Esta característica ha sido optimizada en ambos edificios, con revestimientos adicionales que mejoran la resistencia. El hormigón, utilizado en "La Nueva Era", es naturalmente resistente al fuego y no requiere tratamientos adicionales para garantizar su seguridad frente a incendios.

Conclusión general: El análisis comparativo muestra que el CLT es una opción innovadora y eficiente en términos de sostenibilidad y rapidez de construcción, con una excelente capacidad estructural en zonas sísmicas como Chile. Sin embargo, en términos de costos, aún se enfrenta a desafíos para ser competitivo frente al hormigón, especialmente en proyectos de vivienda social. A medida que la industria y la tecnología del CLT maduren en Chile, es probable que se convierta en una opción más asequible y dominante para edificaciones de mediana altura.

SOLO USO ACADÉMICO

5. CAPITULO V: CONCLUSIÓN:

Evolución y Perspectivas del CLT en Chile

En Chile, el uso del CLT ha crecido de manera exponencial debido a la necesidad de encontrar soluciones sostenibles y eficientes en el contexto de los desafíos climáticos y de crecimiento urbano. Desde que se comenzaron a realizar los primeros proyectos con CLT en el país, como el Edificio Tamango y otros edificios habitacionales y comerciales, su adopción ha avanzado con fuerza, favorecido por las normativas que incentivan la construcción en madera y las políticas de sostenibilidad.

El CLT ha demostrado ser una alternativa viable para construir estructuras de mediana y gran altura, con ejemplos internacionales como el Mjøstårnet en Noruega, un rascacielos de 18 pisos construido casi completamente en madera, lo que refuerza la idea de que el CLT puede ser utilizado para "superestructuras". En Chile, la combinación del CLT con tecnologías de prefabricación, alta eficiencia energética y el uso de recursos locales como el pino radiata, lo convierte en un candidato ideal para proyectos a gran escala.

Conclusión

La evolución del CLT en Chile refleja un cambio positivo hacia métodos de construcción más sostenibles y eficientes. Desde su proceso de fabricación, altamente tecnificado y estandarizado, hasta el premontaje y montaje en obra, el CLT ofrece ventajas significativas en términos de tiempos de construcción, reducción de residuos y menor impacto ambiental.

Con el tiempo, y a medida que se sigan desarrollando nuevos proyectos y se perfeccionen las técnicas de montaje, es probable que el CLT se consolide como una de las principales opciones para la construcción en altura en Chile. La posibilidad de utilizarlo en edificaciones de gran escala o incluso "superestructuras" está cada vez más cerca, ya que combina sostenibilidad, resistencia sísmica, y eficiencia energética.

Este sistema constructivo tiene un enorme potencial para cambiar la forma en que se construyen las ciudades, ofreciendo una alternativa más amigable con el medio ambiente y competitiva en términos de costos y tiempos de ejecución. Con su evolución, el CLT

podría desempeñar un papel clave en el futuro de la construcción, no solo en Chile, sino a nivel global.

El CLT ha avanzado considerablemente en Chile en la última década, transformándose en una opción cada vez más atractiva para proyectos residenciales y comerciales. Su capacidad de prefabricación y eficiencia en el montaje han reducido los tiempos de construcción y generados menos residuos en obra. Además, su sostenibilidad, ya que el CLT proviene de fuentes renovables, lo convierte en un sistema constructivo clave en la lucha contra el cambio climático.

Impacto futuro: A medida que las normativas en Chile favorecen la construcción en madera y las innovaciones tecnológicas continúan avanzando, es posible que el CLT se convierta en un elemento clave para la construcción de edificios de mediana y gran altura, consolidándose como una opción de "superestructura". Ejemplos como el Mjøstårnet en Noruega, un rascacielos de madera, son una prueba de que el CLT puede alcanzar nuevas alturas.

Chile está en una posición única para liderar este tipo de construcción en América Latina, aprovechando sus recursos naturales y su capacidad de innovación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Admin. (2023, November 10). *Edificio Tamango - Primer edificio de madera en Chile*. Edificio Tamango. <https://edificiotamango.cl/coyhaique/>
- 2) Arauco Celulosa. (2024, May 15). *CLT - Madera contralaminada*. Arauco Chile. <https://arauco.com/chile/marcas/hilam/clt-madera-contralaminada/>
- 3) Burgos Net Zero: Primer edificio carbono neutral en Latinoamérica. (2024, March 27). <https://www.madera21.cl/blog/2024/03/27/burgos-net-zero-primer-edificio-carbono-neutral-en-latinoamerica/>
- 4) Bustos, A. (2018, June 14). *Comité Una Nueva Era se toma terreno en Renca para exigir viviendas*. Radio Universidad de Chile. <https://radio.uchile.cl/2018/06/14/comite-una-nueva-era-se-toma-terreno-en-renca-para-exigir-viviendas/>
- 5) Laborde, A. (2023, January 10). *El edificio sustentable de madera más alto de Latinoamérica se asoma en la Patagonia*. El País América. <https://elpais.com/america-futura/2023-01-10/el-edificio-sustentable-de-madera-mas-alto-de-latinoamerica-se-asoma-en-la-patagonia.html>
- 6) Patagonia, C. S. (n.d.). *El edificio sustentable de madera más alto de Latinoamérica se asoma en la Patagonia*. Canal Sur Patagonia. <https://www.canalsurpatagonia.cl/el-edificio-sustentable-de-madera-mas-alto-de-latinoamerica-se-asoma-en-la-patagonia/>
- 7) Prieto, C. (2023, May 16). *Latin America's First High-rise Building in Cross Laminated Timber is Built in Chilean Patagonia*. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/992878/latin-americas-first-high-rise-building-in-cross-laminated-timber-is-built-in-chilean-patagonia>
- 8) SERVIU. (n.d.). *Proyecto Nueva Era: 105 familias de Renca recibieron las llaves de sus viviendas*. <https://serviumentropolitana.minvu.gob.cl/noticia/proyecto-nueva-era-105-familias-de-renca-recibieron-las-llaves-de-sus-viviendas/>
- 9) Simpson Strong-Tie. (n.d.). *Simpson Strong-Tie Site*. <https://www.strongtie.com/>
- 10) Tecton Inmobiliaria. (2024, March 25). *Explorando Burgos Net Zero en 'Obra Abierta'*. Tecton Inmobiliaria - Construcciones Responsables Con el Medio. <https://www.itecton.cl/blog/explorando-burgos-net-zero/>
- 11) xavier@elmerkat.com. (2022, November 23). *El CLT, una alternativa para lograr el compromiso sostenible de la arquitectura*. Next Arquitectura. <https://nextarquitectura.com/clt/>
- 12) Arauco Celulosa. (2024, 15 mayo). *CLT- Madera contralaminada - Arauco Chile*. Arauco Chile. <https://arauco.com/chile/marcas/hilam/clt-madera-contralaminada/>
- 13) Home - CChC. (s. f.). CChC. <https://cchc.cl/>