

Manual de modelación computacional y diseño estructural de edificios de CLT

Con el resurgir de la madera como material de construcción y una nueva forma de edificar basada en la construcción industrializada, el CLT se ofrece como uno de los sistemas constructivos del futuro. Con un actual crecimiento exponencial de la cantidad de proyectos ejecutados y un interés cada vez mayor de arquitectos, diseñadores, ingenieros e inversores, el potencial del CLT es muy prometedor. Sin embargo, debido a su novedad, pocos son los profesionales familiarizados con su comportamiento estructural y sus metodologías de diseño.

Incluyendo descripciones sobre las distintas formas de construir con CLT y enseñando mediante la teoría física y ejemplos prácticos aplicables en la realidad, este libro se ofrece como una herramienta para entender y diseñar estructuralmente edificios de CLT en Chile.

INTRODUCCIÓN

El CLT es un material de construcción innovador compuesto por capas cruzadas de madera, unidas mediante adhesivos estructurales, conformando un panel macizo y masivo. Esta configuración proporciona una alta estabilidad dimensional y una considerable resistencia mecánica, permitiendo su uso en una amplia variedad de aplicaciones estructurales, desde edificios residenciales hasta puentes y estructuras de gran altura. El desarrollo del CLT comenzó en Europa en la década de 1990, específicamente en Austria y Alemania, como respuesta a la necesidad de un material de construcción sostenible y eficiente que pudiera competir con el hormigón armado y el acero. Desde entonces ha ganado popularidad en todo el mundo, siendo ampliamente utilizado en Europa, América del Norte y otras regiones.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este manual es proporcionar una guía práctica y detallada para ayudar y orientar al diseñador en la modelación computacional y cálculo estructural de edificios de CLT.

DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DE EDIFICIOS DE CLT

Este capítulo del manual presenta las distintas variantes estructurales en que puede desenvolverse el CLT y se explica en detalle una de esas variantes, a partir de la cual será posible extrapolar ese conocimiento a las demás alternativas.

La variante explicada consiste en una estructura 100% de CLT, en sistema plataforma, con muros segmentados, dinteles y antepechos discontinuos, paneles prefabricados y encuentros de muros rígidos y elásticos. Se describen los principales elementos estructurales (muros, losas y vigas) y múltiples tipos de uniones entre paneles de CLT.

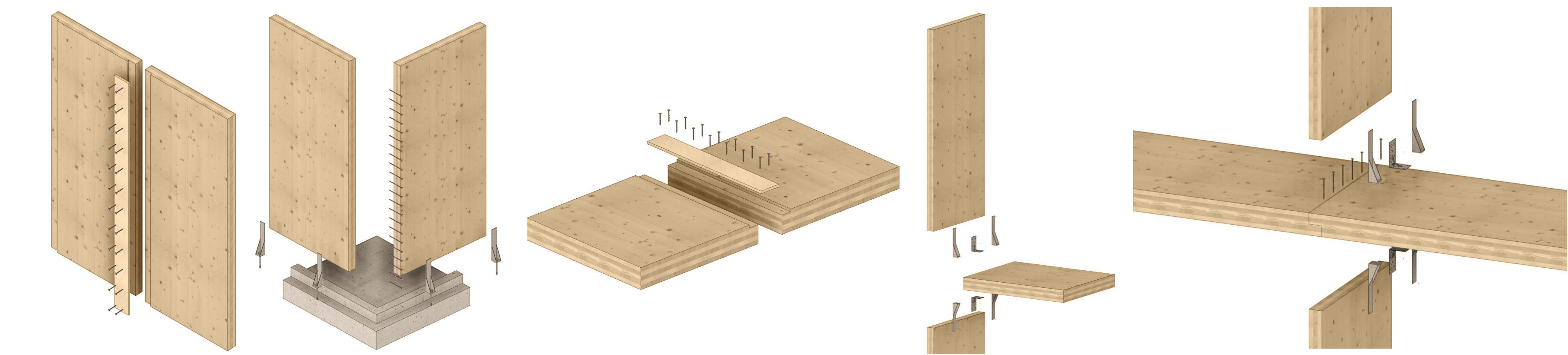


Figura 1 – Algunas de las uniones descritas en el manual.

MODELACIÓN COMPUTACIONAL DE ELEMENTOS

Este capítulo del manual describe en modalidad paso a paso la modelación computacional de elementos estructurales en edificios de CLT, es decir, paneles, uniones lineales y uniones discretas. Se explican teóricamente las consideraciones necesarias para la modelación en un programa de elementos finitos, ejemplificándose en RFEM6 y pudiendo extrapolarse a cualquier otro programa. Para la familiarización de la modelación, se presentan 4 ejemplos prácticos con sus resultados, que demuestran la aplicabilidad y ventajas de esta modelación.

Entre los resultados de la modelación computacional, se obtienen reducciones de deformación de hasta un **30%** y de tracción en hold-downs de hasta un **54%** en comparación a los cálculos analíticos, aún siendo conservador respecto a los ensayos experimentales.

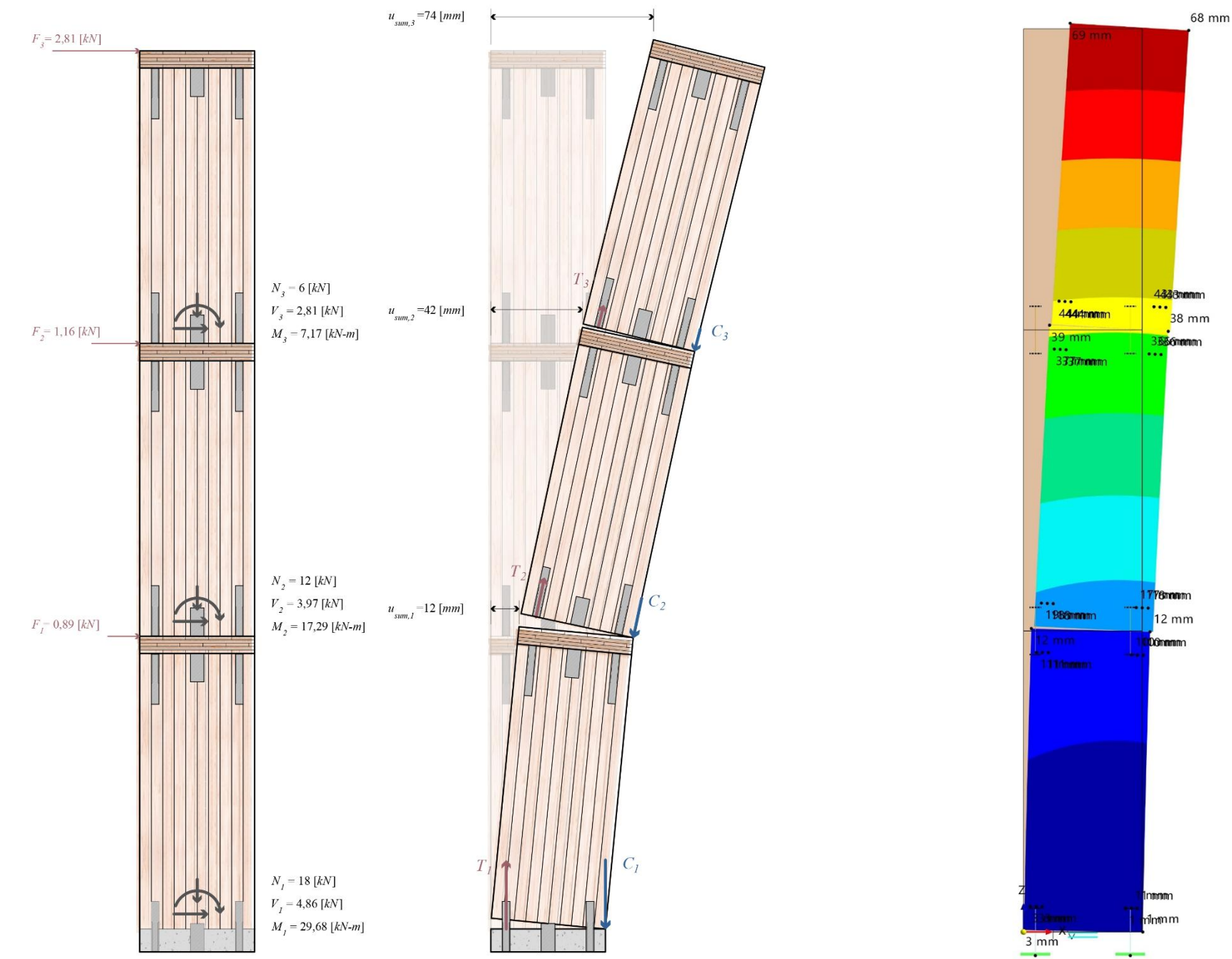


Figura 2 – Resultados analítico y computacional de uno de los ejemplos prácticos del manual

MODELACIÓN COMPUTACIONAL DE EDIFICIOS

A partir de la base de modelación del capítulo anterior, se diseña un caso de estudio de 3 pisos, ateniéndose a las normativas nacionales y complementándose con las normativas internacionales.

La forma de modelación permite:

- considerar la semirrigidez de las uniones lineales y puntuales,
- estimar modos de vibración realistas de la estructura,
- estimar las deformaciones y *drift* de entrepiso,
- extraer tensiones internas en cada capa de los paneles de CLT; y
- extraer las fuerzas en las uniones lineales y puntuales.

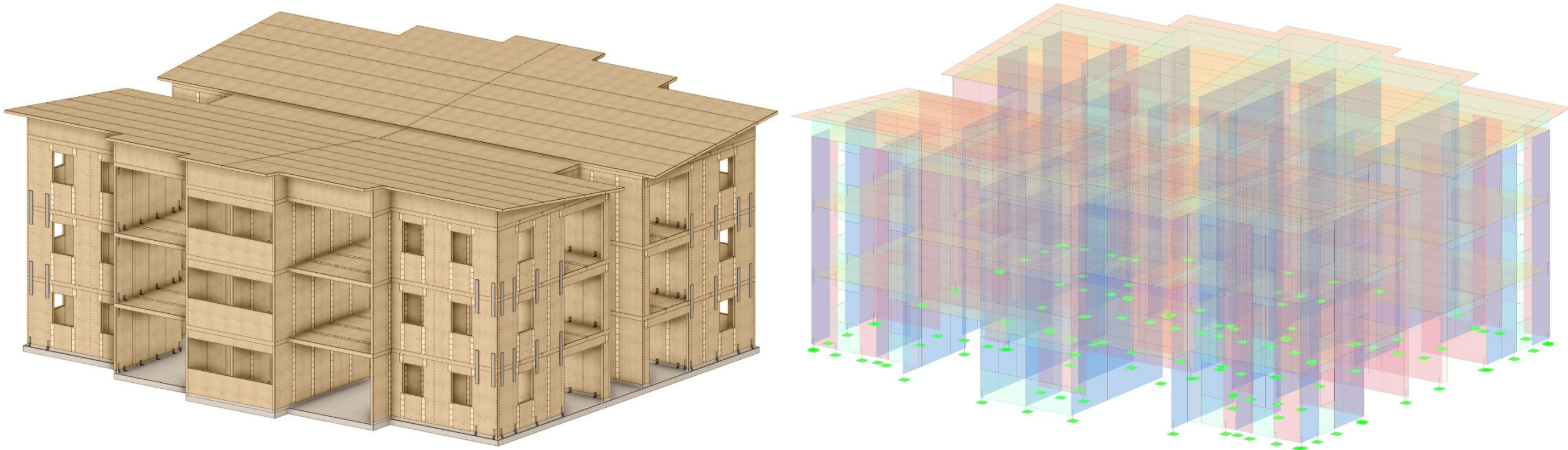


Figura 3 – Modelación geométrica (Cadwork) y computacional (RFEM6) del caso de estudio.

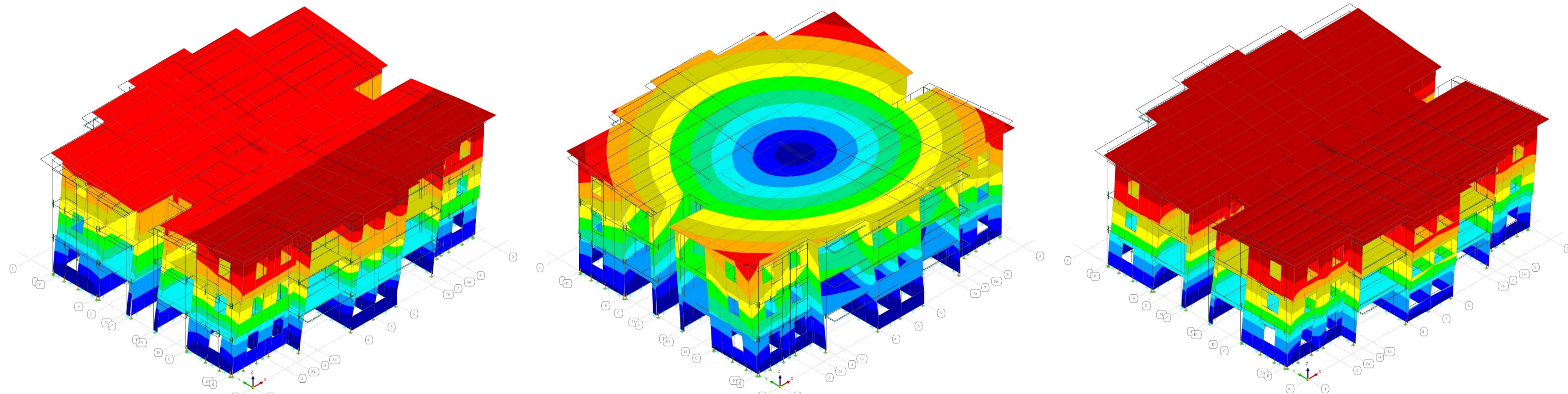


Figura 4 – Tres primeros modos de vibración de la estructura: $T_1 = 0,283 [s]$; $T_2 = 0,277 [s]$; $T_3 = 0,242 [s]$.

DISEÑO ESTRUCTURAL

Capítulo técnico que incluye y ahonda aún más en todas las verificaciones estructurales analíticas incorporadas en el Anteproyecto de Norma de Diseño Estructural de CLT, basado en las normativas internacionales y en la realidad de fabricación chilena.

Este capítulo presenta y explica todas las ecuaciones analíticas necesarias para verificar la resistencia de flexión, cizalle, compresión y tracción de paneles de CLT. Adicionalmente, incluye fórmulas para estimar la rigidez de las uniones lineales y puntuales, y un método para verificar el desempeño de vibración de las losas, ambos basados en el código europeo.

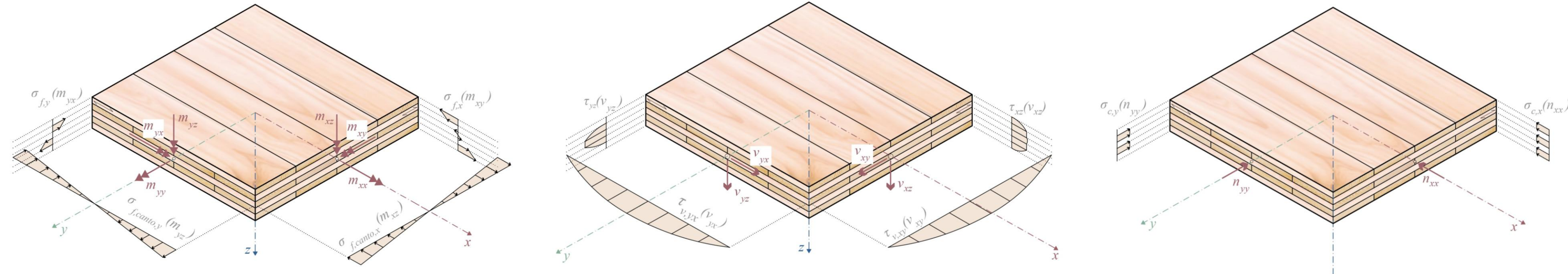


Figura 5 – Tensiones internas en el CLT debido a solicitaciones de flexión, cizalle y compresión.

RECOMENDACIONES

Capítulo enfocado en orientar y ayudar al usuario para un prediseño estructural en la variante propuesta, otorgando tablas con resistencias y rigideces de distintos paneles de CLT fabricables en Chile y gráficos con espesores óptimos de losa según la luz y el requerimiento de diseño.

Además, en este capítulo se provee de recomendaciones sobre las alternativas que no se desarrollan en profundidad en este manual, como la variante en *balloon*, o estructuras híbridas, entre otros. También incluye una descripción breve sobre el CLT y la estrategia contra incendios.

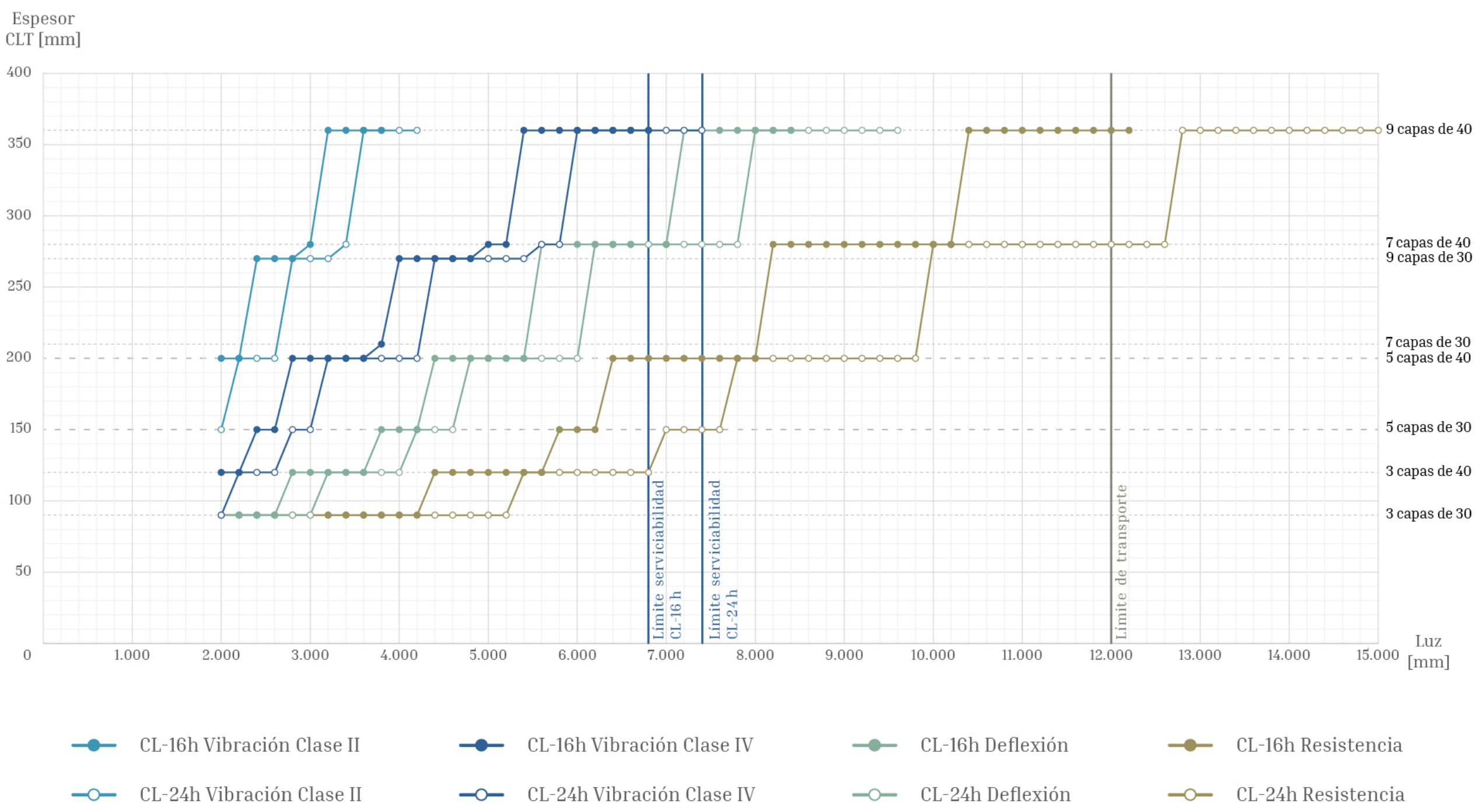


Figura 6 – Espesor óptimo por luz de losa de CLT para uso residencial (no incluye fuego).

AGRADECIMIENTOS

Este manual ha sido creado gracias al convenio de colaboración y transferencia entre la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (DITEC) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU) y el Centro de Innovación en Madera (CIM UC), en el marco del Plan de Emergencia Habitacional.

Disponible gratuitamente en las plataformas digitales de Diseña Madera y DITEC.

Cristóbal Reyes Gaete