

# COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE MADERA CONTRALAMINADA

El presente trabajo tiene como objetivo revisar y procesar antecedentes relacionados con el comportamiento al fuego de la madera contralaminada y la posible modelación analítica de su capacidad resistente en condiciones de incendio, analizando la experiencia internacional al respecto.

## Abstract

Cuando se habla de promover la construcción en altura con materiales de madera, inevitablemente surgen aprehensiones relacionadas con la inseguridad que produce el uso de un material sabidamente combustible en proyectos de este tipo. El desafío abordado en el presente trabajo consiste en demostrar con argumentos rigurosos y probados que su uso no involucra más riesgos que los inherentes a la utilización de estructuras de hormigón armado, acero o albañilerías. La experiencia extranjera permite apreciar que esto efectivamente es posible, lo que explica la existencia de proyectos construidos de hasta nueve pisos en Inglaterra, Alemania, Austria y Canadá, junto con otros numerosos proyectos en tramitación en Estados Unidos.

Lo anterior de la mano del material constructivo llamado madera contralaminada, conocido internacionalmente como CLT (por sus siglas en inglés: Cross Laminated Timber, o también conocida como XLAM) y de ahora en adelante llamado indistintamente como MCL, el cual consiste en una disposición encolada contrapuesta de entablados de piezas de madera aserrada enfrentadas en sus cantos y eventualmente vinculadas entre sí por medio de un encolado. Las reglas de armado de estos paquetes son similares a las que se aplica para la fabricación de tableros contrachapados, y análogamente a lo que sucede con estos, el material resultante exhibe propiedades mecánicas prácticamente homogéneas en el plano y una buena estabilidad dimensional en dicho plano, mejorando considerablemente los problemas de anisotropía que caracterizan a la madera aserrada.

La situación descrita explica la rápida aceptación del material por parte de la industria de la construcción, que ha aprovechado sus características para el desarrollo de tipologías constructivas en el área residencial e industrial. Actualmente el material está siendo estudiado en proyectos de investigación de diversas Universidades, centrándose en los procesos de fabricación, las propiedades mecánicas y los sistemas de interconexión de elementos. Por lo que el actual trabajo busca ser un aporte a la comprensión del comportamiento al fuego del material.

Chile dispone de recursos madereros generosos y renovables, con plantaciones de bosques de Pino radiata, especie conífera de adecuadas propiedades mecánicas, que aseguran un suministro de material madera aserrada que no se refleja en los índices locales de consumo de madera en la construcción. El desarrollo de soluciones constructivas en altura moderada para uso residencial, educacional y de oficinas puede activarse con la incorporación al mercado local de componentes de madera contralaminada de Pino radiata.

Dados los antecedentes anteriormente mencionados no resulta un despropósito, en consecuencia, analizar la factibilidad de desarrollar esta industria en Chile, incorporando la posibilidad de un trabajo en conjunto del Estado y la Academia similar a lo apreciado en Austria. Aprovechando el programa de caracterización del comportamiento de las estructuras de madera expuestas a la acción del fuego que desarrolla en la actualidad el IDIEM surge la posibilidad de incorporar en esta línea el comportamiento de los elementos constructivos de madera contralaminada (MCL).

## Introducción

Con una presencia de algo más de dos décadas desde su aparición en el mercado de la construcción, la madera contralaminada ha incrementado su participación en el mismo en forma sostenida, especialmente en Europa Central y América del Norte. Las reglas de armado de estos paquetes son similares a las que se aplica para la fabricación de tableros contrachapados, y análogamente a lo que sucede con estos, el material resultante exhibe propiedades mecánicas prácticamente homogéneas en el plano y una buena estabilidad dimensional en dicho plano, mejorando considerablemente los problemas de anisotropía que caracterizan a la madera aserrada. La situación descrita explica la rápida aceptación del material por parte de la industria de la construcción, que ha aprovechado sus características para el desarrollo de tipologías constructivas en el área residencial e industrial. De especial interés resultan las aplicaciones en edificaciones en altura utilizando madera.

El presente trabajo tiene como objetivo revisar y procesar antecedentes relacionados con el comportamiento al fuego de la madera contralaminada y la posible modelación analítica de su capacidad resistente en condiciones de incendio. Se analizará el estado del arte en este campo de acuerdo con los antecedentes más relevantes disponibles en Europa, Norteamérica y Oceanía.

En la primera mitad de esta revisión bibliográfica se detallan los parámetros utilizados por cada referencia y/o país tanto en los métodos de diseño estructural de elementos de madera al fuego, como en los métodos de diseño como elemento separador.

## Metodología

Partiendo con una revisión general tanto de la madera como material de construcción como de su comportamiento al fuego, es decir, como el fuego afecta a sus propiedades mecánicas. Se exploran los conceptos que dieron origen a la MCL, su uso y continuo desarrollo a lo largo de la historia. Además, se presentan los requisitos generales que exponen las normativas, tanto nacionales como internacionales, para el análisis de la capacidad resistencia al fuego de elementos constructivos en el evento de incendio.

Se reconocen los métodos para incluir el efecto de la disminución en las propiedades mecánicas y de la rigidez del elemento de madera, estos son el método de la sección transversal reducida y el método de las propiedades mecánicas reducidas. Dichos métodos han sido ampliamente aceptados y usados a lo largo del mundo en las modelaciones analíticas, siendo el primero de estos el más utilizado. En ambos métodos se reconoce que en la zona cercana a la capa carbonizada se han reducido sus propiedades mecánicas, situación que se considera en forma distinta por cada método. Cabe agregar que el método de las propiedades reducidas solo se aplica a los elementos sujetos al fuego desde tres o cuatro lados, es decir, no es típicamente aplicable a elementos de MCL y, por lo tanto, no se trata en este documento.

El diseño estructural de elementos de MCL al fuego se basa en la aplicación simultánea del método de la sección transformada junto con el método de la sección transversal reducida, tal como lo esquematiza la Figura 1. Estos tratan la ortotropía y la reducción de las propiedades del material, respectivamente. La ventaja de describir el comportamiento al fuego de la sección de esta forma es que queda totalmente definido por 2 parámetros, que son la velocidad de carbonización  $\beta_0$  [ $mm/min$ ] y el espesor de la capa de resistencia cero (ZSL)  $d_0$  (ó  $s_0$ ) [ $mm$ ]. Las distintas referencias analizadas se diferencian en los factores que modifican a estos parámetros y/o su variación en el tiempo.

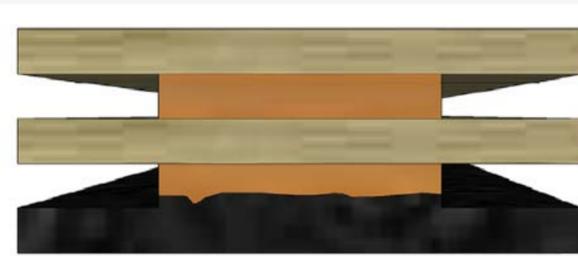


Figura 1.- Esquema del método de la sección transversal reducida junto con el método de la sección transformada (modificada de [Wiesner et al., 2017]).

Este método de diseño se explora en la siguiente lámina titulada Resultados Proyecto, siendo aplicado en la sección *Resumen* y comentado en *Conclusiones*.

Mientras que en la segunda mitad se presentan los principales avances a destacar en la investigación de elementos estructurales de MCL en caso de incendio, junto con estudios sobre incendios en compartimientos de MCL en caso de incendio (sin seguir la curva normalizada de fuego ISO E119).

Esta revisión bibliográfica se acompaña de la aplicación de los métodos estudiados a dos sistemas estructurales, un sistema de piso y un muro de MCL, los cuales se ensayaron a fin de determinar sus resistencias al fuego experimentalmente para luego comparar estas con los resultados teóricos. Los objetivos de este trabajo se resumen en los siguiente tres puntos:

- Estudiar los métodos analíticos disponibles para la estimación de la resistencia al fuego de componentes estructurales de MCL.
- Analizar la experiencia internacional relacionada con la verificación experimental del comportamiento al fuego de componentes constructivas de MCL.
- Aplicar los métodos de análisis y ensayos a casos específicos ensayados en el laboratorio de fuego del IDIEM.

A continuación, se procede a desarrollar el trabajo aquí presentado.