



# COMPORTAMIENTO EN SITUACIÓN DE INCENDIO DE LA MADERA CONTRA- LAMINADA CLT

EMILIO LUENGO CUADRADO. INGENIERO DE MONTES (AITIM)

## Introducción

Si bien es un producto que destaca entre otros precisamente por ser un elemento macizo continuo y de dimensiones importantes, y esto en principio augura un comportamiento favorable en situación de incendio, la MADERA CONTRALAMINADA, MCL, o CLT en inglés, aún no ha sido incluida de forma específica en la normativa de cálculo de estructuras de madera, como puede ser el Eurocódigo 5 en su parte de análisis en situación de incendio (UNE-EN 1995-1-2).

Por su masividad como sistema constructivo resulta en una menor presencia de cavidades propias de otros sistemas como el entramado ligero, pero por otro lado con su uso también se incrementa la CARGA DE FUEGO al aumentar la cantidad de madera presente, lo que hace importante el análisis y la

definición de detalles de protección adecuados. En realidad no estamos ante un producto, si no que se trata de un sistema constructivo completo con detalles específicos para obtener prestaciones en múltiples aspectos, y esta complejidad requiere necesariamente información procedente de la práctica y de ensayos, en muchos casos proporcionada por los propios fabricantes de MCL.

Centrándonos en los tableros de MADERA CONTRALAMINADA como elemento estructural, **la primera pregunta podría ser si su análisis en situación de incendio es idéntico al de la madera maciza o laminada.** En ese caso pese a que es un producto relativamente reciente su inclusión en la normativa podría haber sido rápida. Como veremos no ha sido así, ya que el estudio de su comportamiento presenta cierta complejidad.

**¿Es su comportamiento favorable en situación de incendio?** ? A tenor de los resultados de los ensayos de resistencia al fuego realizados hasta el momento así es, ya que las soluciones propuestas bajo determinadas condiciones alcanzan niveles de resistencia al fuego entre REI 60 y REI 90. Esto según el uso de elementos de protección, la función portante, los espesores y el número de capas utilizados, pudiendo llegar a niveles superiores, como por ejemplo REI 120 en muros.

Conviene así mismo no olvidar la crucial importancia de los detalles constructivos en la resistencia al fuego, especialmente para el cumplimiento de los criterios de integridad, así como las exigencias de reacción al fuego, que implican en muchas ocasiones la protección del producto con elementos específicos como placas de cartón-yeso.

Las metodologías para evaluar el comportamiento de la MCL en situación de incendio son fundamentalmente el uso de ensayos de resistencia y reacción al fuego, y por otro lado, estudios teóricos para valoración de la capacidad portante.

### Métodos de análisis teórico

Lógicamente los métodos de análisis no son radicalmente diferentes de los utilizados en productos de madera macizos o en la madera laminada encolada, y están basados en el estudio de la carbonización del elemento y en el efecto de la temperatura en determinadas zonas del mismo, ya que el material es fundamentalmente madera y se comporta como tal en situación de incendio.

No obstante se observan diferencias en varios detalles del funcionamiento de la MCL respecto a la madera laminada o maciza, por ejemplo variaciones en las velocidades de carbonización debidas a la orientación del elemento, influencia de la configuración y tamaño del elemento, y diferencias de funcionamiento debidas a ser un material formado por capas con diferente orientación de la fibra.

Como es sabido, fundamentalmente hay dos metodologías simplificadas de análisis del comportamiento de la madera en situación de incendio, por un lado está el método de las propiedades reducidas (MPR), y por otro el método de la sección reducida (MSR). Ambas se recogen en el Eurocodigo 5 de estructuras de madera en

su parte 1-2 de proyecto de estructuras sometidas a fuego (UNE-EN 1995-1-2), junto con las bases para otras metodologías avanzadas.

Por su mayor simplicidad la metodología de la sección reducida es la más empleada, y es por ejemplo la recogida en el documento DB SI del Código Técnico de la Edificación. También en el estudio teórico de la resistencia al fuego de la MADERA CONTRALAMINADA es el método empleado de forma más habitual, siendo además considerado más ajustado que el de las propiedades reducidas por algunos autores y guías de fabricantes.

En este MÉTODO DE LA SECCIÓN REDUCIDA se considera que la situación de incendio desarrollada produce la carbonización progresiva de la sección reduciendo su tamaño en las caras expuestas al fuego. Por otro lado también se tiene en cuenta el efecto de reducción de propiedades debido al calor en la zona anexa a la carbonizada a través de una pérdida de sección adicional (ficticia), sección de resistencia nula o espesor  $d_0$ , que se estima que produciría un efecto equivalente.

### Efecto del funcionamiento de capas cruzadas en los análisis de sección

Dado que la MADERA CONTRALAMINADA está compuesta por capas de tablas o láminas de madera encoladas que llevan orientación de la fibra perpendicular entre sí, los análisis teóricos de comportamiento mecánico de forma simplificada tienden a considerar que hay capas que trabajan plenamente, con la fibra en la dirección del esfuerzo, y otras que solo tienen un papel conector y separador (aumento del momento de inercia de la sección, transmisión del cortante en elementos a flexión, etc.).

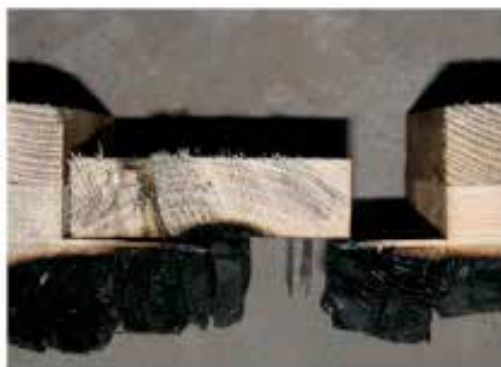
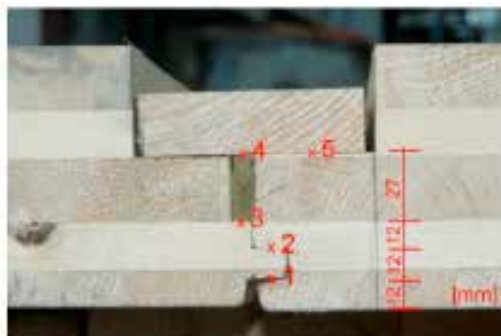
Siguiendo este esquema la carbonización del producto a nivel teórico no produciría un efecto estructural continuo, como podría pasar en un elemento de madera laminada, si no con saltos de comportamiento asociados a la desaparición o pérdida de funcionamiento de las capas eficaces, lo que supondrá por ejemplo una pérdida de momento de inercia que podría ser marcada al consumirse la capa inferior de una pieza de forjado de suelo. Por otro lado sin embargo las capas conectoras si ejercerán su función de protección por carbonización.



El American Wood Council (AWC) realizó un ensayo de Resistencia al fuego de acuerdo a la norma ASTM E119 en un muro CLT el año pasado en NGC Testing Services en Buffalo, Nueva York.



Ensayo de resistencia al fuego de una casa de CLT realizada por la Academia de Ciencias de Seguridad de Estonia (ENG). Sisekaitseakadeemia



© Detalle constructivo del CLT respecto a la resistencia al fuego. Norman Werther<sup>1</sup>, Julia K. Denzler, René Stein y Stefan Winter. Universidad Técnica de Munich, Alemania

## VELOCIDADES DE CARBONIZACIÓN para MADERA CONTRALAMINADA

No hay actualmente un consenso sobre la velocidad de carbonización a emplear en el análisis teórico de las secciones en situación de incendio. Así por ejemplo el documento *CLT Handbook* en su capítulo de prestaciones en situación de incendio (Craft, 2011) propone mantener la velocidad de carbonización de la madera maciza de coníferas, 0,65 mm/min, mientras que diversos documentos de evaluación técnica europea (ETE, ETA en inglés) establecen velocidades entre 0,65 y 0,86 mm/min, según la función del elemento y el tipo de capa (exterior o interior), o incluso se proponen valores superiores en determinadas fases y usos.

El fenómeno, especialmente en elementos horizontales, es muchas veces más complejo que considerar una velocidad de carbonización constante para toda la sección, ya que se suceden etapas con diferente velocidad de degradación debido a fenómenos de protección y pérdida de protección en diferentes fases, por ejemplo por producirse en ocasiones caídas de parte de la capa carbonizada, incrementos posteriores de capa carbonizada, etc.

En el caso habitual de TABLEROS CONTRALAMINADOS protegidos por revestimientos como placas de cartón yeso el proceso de variación en la velocidad de carbonización debido a la presencia del elemento protector y su posterior fallo se suman a lo anterior produciendo un comportamiento de cierta complejidad. Algunas publicaciones basadas en ensayos de resistencia proponen velocidades diferentes para elementos trabajando como muro y para elementos de forjado de suelo. Esto tiene en cuenta efectos como el mencionado desprendimiento de capa en determinados elementos horizontales, asumiendo que el desprendimiento parcial de una capa puede tener un funcionamiento análogo al fallo de un elemento de protección, incrementando la velocidad de carbonización durante determinado tiempo.

No obstante la mayor fuente de discrepancia respecto a la metodología estándar del método de la sección reducida en su aplicación a la MCL está en la consideración del espesor de la capa teórica de espesor  $d_0$ , véase por ejemplo Schmid et al (2014) o Klippel et al (2016). Esta capa tiene en cuenta la pérdida de propiedades mecánicas

debidas a la temperatura en la zona adyacente a la línea de carbonización.

Esta zona de espesor  $d_0$  en la metodología vigente para madera maciza y laminada establece una pérdida de sección de 7 mm de grosor, y varios autores señalan que para MADERA CONTRALAMINADA este valor depende de la configuración del elemento y otras cuestiones, estando su ajuste en discusión actualmente.

### Programas de cálculo y metodologías propuestas por empresas fabricantes

La complejidad anteriormente descrita ha llevado a algunos fabricantes a estudiar el funcionamiento de sus sistemas de TABLEROS CONTRALAMINADOS mediante el uso de sus propios resultados de ensayos de resistencia al fuego y metodologías teóricas de análisis basadas en las indicaciones de su documento de evaluación ETE y otras consideraciones, proponiendo modelos específicos de estudio para sus productos.

También existen diversos programas gratuitos de cálculo para su uso por prescriptores en el diseño de elementos de MADERA CONTRALAMINADA, incluyendo la situación de incendio. Por ejemplo programas ofrecidos por fabricantes para sus productos (*KLH Designer*, *Stora Enso Calculatis*, *Eugen Decker CLT Designer*, etc.), o programas genéricos como *CLT Designer*, que incluyen datos de varios fabricantes y productos.

### Ensayos de resistencia al fuego

Son la herramienta fundamental para comprender y estudiar las prestaciones y el comportamiento de este producto en situación de incendio. Se basan en montajes con escala real, generalmente con carga, si bien en algunos casos para investigación, o si solo se busca evaluar la función de integridad y aislamiento, se han realizado ensayos sin carga.

De forma fundamental hay dos grandes grupos de resultados de ensayo de resistencia al fuego, por un lado los realizados por empresas fabricantes de madera contralaminada, que han probado las diferentes configuraciones de sus productos con y sin revestimientos protectores, en diferentes espesores de tablero y número de capas, tanto para elementos de muro como para forjados de suelo.

Por otro lado también cabe resaltar numerosos ensayos y estudios que reflejan el interés en investigación del comportamiento de este pro-

ducto en diversos organismos y universidades, destacando por ejemplo los trabajos de ETH, TUM y Holzforschung Austria. Puede verse un resumen de estos trabajos en las publicaciones de Klippel et al. (2014, 2016).

El interés de los ensayos realizados por la industria es ofrecer información concreta sobre prestaciones a sus usuarios, incluyendo el comportamiento de juntas entre panel, etc. Generalmente estos datos están fácilmente accesibles y publicados. También estas pruebas como se mencionaba han sido utilizadas por algunos fabricantes para afinar modelos de cálculo teórico y poder ofrecer herramientas de diseño a los prescriptores.

Los casos de mayores prestaciones de resistencia al fuego se corresponden con soluciones en las que se emplean varios elementos de protección como presencia de una o varias placas de cartón-yeso, o soluciones que presentan rellenos con lana de roca entre el elemento de cartón-yeso y la MADERA CONTRALAMINADA, que además debe tener un grosor y configuración de capas adecuada al caso.

### Importancia de los detalles constructivos y la ejecución

Son la herramienta fundamental para comprender y estudiar las prestaciones y el comportamiento de este producto en situación de incendio. Se basan en montajes con escala real, generalmente con carga, si bien en algunos casos para investigación, o si solo se busca evaluar la función de integridad y aislamiento, se han realizado ensayos sin carga.

De forma fundamental hay dos grandes grupos de resultados de ensayo de resistencia al fuego, por un lado los realizados por empresas fabricantes de madera contralaminada, que han probado las diferentes configuraciones de sus productos con y sin revestimientos protectores, en diferentes espesores de tablero y número de capas, tanto para elementos de muro como para forjados de suelo.

Por otro lado también cabe resaltar numerosos ensayos y estudios que reflejan el interés en investigación del comportamiento de este producto en diversos organismos y universidades, destacando por ejemplo los trabajos de ETH, TUM y Holzforschung Austria. Puede verse un resumen de estos trabajos en las publicaciones de Klippel et al. (2014, 2016).

El interés de los ensayos realizados por la

industria es ofrecer información concreta sobre prestaciones a sus usuarios, incluyendo el comportamiento de juntas entre panel, etc. Generalmente estos datos están fácilmente accesibles y publicados. También estas pruebas como se mencionaba han sido utilizadas por algunos fabricantes para afinar modelos de cálculo teórico y poder ofrecer herramientas de diseño a los prescriptores.

Los casos de mayores prestaciones de resistencia al fuego se corresponden con soluciones en las que se emplean varios elementos de protección como presencia de una o varias placas de cartón-yeso, o soluciones que presentan rellenos con lana de roca entre el elemento de cartón-yeso y la madera contralaminada, que además debe tener un grosor y configuración de capas adecuada al caso.

## Conclusiones

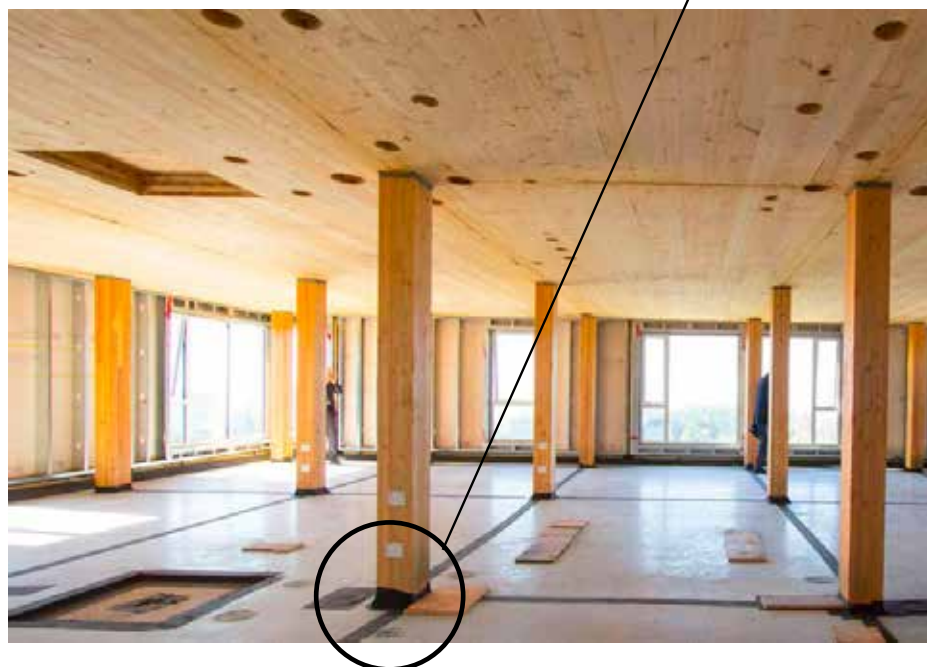
El uso de elementos de madera contralaminada (MCL ó CLT) por su interés creciente en la construcción con madera ha motivado un importante esfuerzo de ensayo e investigación para determinar su comportamiento y prestaciones en situación de incendio.

Debido a este trabajo están disponibles numerosas informaciones que permiten valorar las prestaciones de diversos productos, configuraciones y tipologías de revestimientos de protección, mostrando prestaciones favorables, en algunos de estos ensayos entre REI 60 y REI 120.

Así mismo estos estudios ponen de manifiesto que el análisis teórico del producto no está exento de complejidades y aspectos específicos que derivan en diversos métodos y propuestas de análisis contrastadas con ensayos. Es previsible que tras un periodo de estudio y consenso estos modelos e informaciones acabarán derivando en metodologías normativas específicas para este tipo de elementos.

---

# Anuncio ODICE



La estructura de la Residencia de estudiantes Brock Commons de 13 plantas en British Columbia (Canadá) tiene una Resistencia al fuego de cerca de dos horas, que es la típica de un edificio de gran altura. El edificio, de estructura principal de madera laminada y forjados de CLT. Para una mayor resistencia al fuego del edificio, toda la madera está encerrada en múltiples capas de paneles de yeso y un material de cemento cubre los forjados de CLT. El edificio también está equipado con un sistema de rociadores.

### Bibliografía para consulta

Craft S. (2011). CLT Handbook – Chapter 8 Fireperformance of cross-laminated timber elements. FPinnovatons Special Publication SP-528E. Quebec, Canada. Edición canadiense, editada por Gagnon S. y Pirvú C.

Klippel M, Leyder C, Frangi A, Fontana M, Lam F, Ceccoti A (2014) Fire Tests on Loaded Cross-laminated Timber Wall and Floor Elements. Fire Safety Science Proceedings of the eleventh international symposium, pp. 626-639. International Association for Fire Safety Science.

Klippel M, Schmid J y Andrea Frangi (2016) Fire Design of CLT. Proceedings of the Joint Conference of COST Actions FP1402 & FP1404. KTH Royal Institute of Technology, Division of Building Materials. Stockholm, Sweden pp. 101-122.

Klippel M, Schmid J (2017). Cross-laminated timber: Standard fire design model. Proceedings of the COST Action FP 1404 Expert Meeting 24-25 October, 2017, Kösching, Germany.

Schmid J, Just A, Klippel M y Fragiacomio, M. (2014) The Reduced Cross-Section Method for Evaluation of the Fire Resistance of Timber Members: Discussion and Determination of the Zero-Strength Layer”, Fire Technology, Vol. 51, No. 6, pp. 1285-1309.

Teibinger, M. and Matzinger, I. (2012). Brandabschottung im Holzbau, Planungs-broschüre (Fire-resistant sealing in timber structures). Holzforschung Austria. Referencia solo en alemán.

UNE-EN 1995-1-2 (2016) Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego. CEN, Bruselas.

Werther N., Merk M., Stein R. and Winter S. (2012) Influence of service installations for the separation and structural performance of timber assemblies exposed to fire. Proceedings of 7th International Conference on Structures in Fire. Zürich, Suiza.

Werther N, Denzler JK, Stein R, Winter S. (2016) Detailing of CLT with Respect to Fire Resistance. Proceedings of the Joint Conference of COST Actions FP1402 & FP1404. KTH Royal Institute of Technology, Division of Building Materials. Stockholm, Sweden pp. 125-135.

**NUEVO**  
en nuestro catalogo

## PLACAS DE TRACCIÓN Y CORTE PARA EDIFICIOS DE MADERA

Especial para construcciones en madera CLT y entramado ligero

### Ventajas

- Especial para las construcciones modernas en CLT y timber frame
- Altas capacidades de carga  
→ por lo que se requieren menos Placas
- Para instalaciones tanto en Madera como en Hormigón
- Muy alta resistencia a la tracción gracias al nuevo concepto de fijación de los tornillos a 45 grados

Placas MH60/  
MH70

Shearing angle

Placas MM60/  
MM70

Para más  
placas de tracción  
y corte, visite  
nuestra web

## SISTEMA T-TEC

Unión oculta madera-madera y  
madera-hormigón

Soporte Alu T

Espiga Autoperforante  
madera-acero

Ejemplo de aplicación:  
Madera-Hormigón



Ejemplo de aplicación:  
Madera-Madera



[www.eurotec.team](http://www.eurotec.team)