

La oportunidad para la madera contralaminada en Uruguay

DANIEL GODOY

Arquitecto y doctor en Arquitectura. Trabaja en el Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería (UdelaR) y en el Instituto de la Construcción de la Facultad de Diseño, Arquitectura y Urbanismo (UdelaR).

Introducción

¿QUÉ SON LOS PANELES DE MADERA CONTRALAMINADA?

El método de construcción con madera más tradicional y extendido a nivel mundial es el entramado ligero, basado en la combinación de elementos portantes ligeros —entramado— que trabajan solidariamente con elementos de cerramiento y/o revestimiento y aportan al conjunto la resistencia y rigidez necesarias ante las acciones verticales y horizontales (Peraza Sánchez, 1995). No obstante, el producto estrella a nivel internacional en la construcción de edificaciones de madera, hoy en día, es la madera contralaminada conocida como Cross Laminated Timber [CLT].

Los paneles de CLT están formados por tablas de madera aserrada que se vinculan entre sí por medio de un adhesivo, colocándose una sobre otra en capas superpuestas de modo que la dirección de las tablas en cada capa es perpendicular a la anterior (fig. 1). Los paneles son fabricados, en general, con una cantidad de capas que pueden ir desde 3 hasta 7, incluso más, siendo simétricos a partir de una capa central. Se trata de un producto estructural muy versátil gracias al gran tamaño de las placas, que permite que oficien tanto de cerramientos horizontales estructurales, intermedios o superiores, como de muros de carga, dando lugar a un innovador sistema constructivo. Los paneles CLT son producidos con maderas de coníferas provenientes, generalmente, de bosques cultivados con fines de explotación comercial. La utilización de la

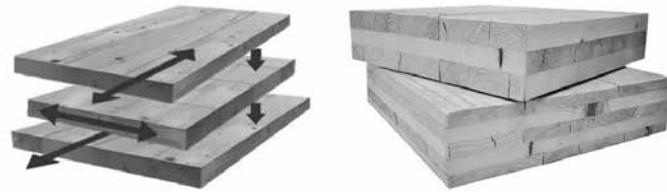


FIGURA 1. PANELES CLT. A LA IZQUIERDA, ESQUEMA DE CONFORMACIÓN DEL PANEL CLT. FUENTE: LAGUARDA MALLO Y ESPINOZA, 2014. A LA DERECHA, PANELES DE 3 Y 5 CAPAS. FUENTE: [HTTPS://BUILDINGRESILIENCECOALITION.ORG](https://buildingresiliencecoalition.org)

madera de coníferas se debe a su facilidad de mecanización y a su bajo costo, aspecto fundamental para la competitividad del sistema, ya que utiliza grandes cantidades del material.

Los tamaños de los paneles varían según los fabricantes, siendo habituales los anchos de entre 2,4 m y 3 m. Las longitudes dependen de las instalaciones de cada proveedor, pudiendo ser de hasta 18 m; aunque, por lo general, el largo está limitado por aspectos logísticos referidos al transporte. Los espesores comerciales habituales varían entre los 12 cm y 18 cm para paneles de losa y entre los 14 cm y 20 cm para los paneles de muro. No obstante, pueden fabricarse con espesores mayores de acuerdo a demanda, existiendo capacidad para hacer paneles de hasta 50 cm de espesor.

EL SISTEMA CONSTRUCTIVO

En este sistema constructivo los paneles se fabrican a medida para cada edificación, realizándose piezas de grandes dimensiones, con vanos incluidos, que luego se colocarán en obra conformando tramos de fachada o losas completas (fig. 2). Los vanos para las aberturas, los ensamble con otros elementos constructivos y el pasaje de instalaciones son realizados en fábrica mediante corte CNC. Esto hace que la fabricación de los paneles esté ligada siempre a un proyecto ejecutivo y de despiece previo, con la ventaja de una excelente coordinación de las piezas, que conlleva una elevada rapidez de montaje, pero con el inconveniente de la inexistencia de un *stock* de paneles CLT para ser usados en diferentes edificaciones.

Los países líderes en el uso del CLT son Austria, Alemania, Suiza, Suecia, Noruega y el Reino Unido. La producción ha tenido un crecimiento constante desde el año 2000, con tasas de crecimiento del 15% al 20% por año en las capacidades de producción en Europa (Brandner, Flatscher, Ringhofer, Schickhofer y Thiel, 2016). En el año 2015 se produjeron unos 630.000 m³ en Europa, según el Centre for the Promotion of Imports (CBI, 2015), y existe una proyección de 3 millones de m³ para el año 2025 (Plackner, 2015). Dentro del ámbito de la construcción con madera, la edificación con paneles CLT ha supuesto una revolución, ya que su lógica constructiva es muy diferente a la de otros sistemas de madera. Unos de los mayores impactos que han tenido estos paneles es que habilitaron un nicho de mercado en el que no participaba la construcción con madera: la edificación en altura de más de 4 niveles.

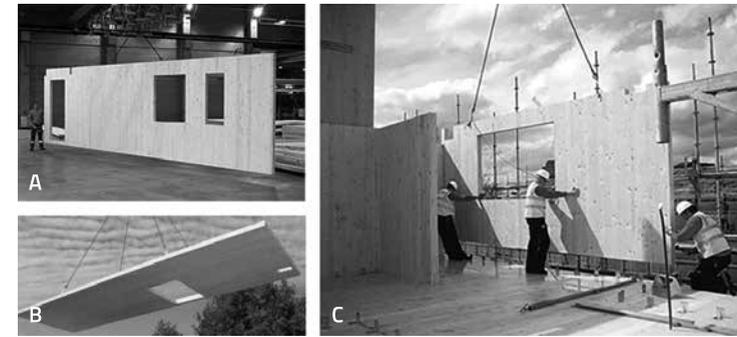


FIGURA 2. MONTAJE DE PANELES CLT: A) PANEL EN PLANTA. FUENTE: [WWW.GUARDIANSTRUCTURES.CA](http://www.guardianstructures.ca); B) COLOCACIÓN DE UN PANEL DE PARED EN OBRA. FUENTE: [WWW.WOODSKYSCRAPERS.COM](http://www.woodskyscrapers.com); C) COLOCACIÓN DE UN PANEL DE LOSA EN OBRA. FUENTE: [WWW.TREEHUGGER.COM](http://www.treehugger.com)



FIGURA 3. A) EDIFICIO UBC COMMONS, 2016. FUENTE: [HTTP://ASPECTENGINEERS.COM](http://aspectengineers.com); B) EDIFICIO OAKWOOD TOWER, 2017. FUENTE: [HTTPS://WWW.DEZEEN.COM](https://www.dezeen.com); C) EDIFICIO RIVER BEECH, 2017. FUENTE: [HTTPS://WWW.CURBED.COM](https://www.curbed.com)

En la actualidad, el edificio más alto del mundo construido con paneles CLT es una residencia estudiantil de la Universidad de British Columbia, Canadá, con 18 niveles y 53 metros de altura (fig. 3a). Recientemente se concluyeron dos edificios de 81 y 85 metros de altura que combinan en su estructura diversos productos de ingeniería en madera y utilizan CLT como tecnología predominante (Moelven Limtre, 2019; Woschitz Group, 2019). Desde el campo teórico, varios son los autores que han propuesto la viabilidad técnica de realizar rascacielos en madera, como Michael Green (Green, 2013), PLP Architecture, con su edificio de 80 pisos Oakwood Tower (PLP Architecture, 2018) (fig. 3b), el edificio River Beech de Perkins + Will (Ctuh, 2017) (fig. 3c), entre otros, todos utilizando la tecnología de la madera contralaminada.

MODELO DE COMERCIALIZACIÓN

La posibilidad de prefabricar el edificio completo y trasladar posteriormente los paneles que lo componen a su ubicación final permite entender esta forma de construir como «edificio para armar», realizando una analogía con los muebles de madera. Además, los paneles CLT son un producto que admite un proceso de diseño, fabricación y montaje a escala global. Existen experiencias



FIGURA 4. COMPLEJO HOTELERO LA JUANITA EN JOSÉ IGNACIO. FUENTE: ENKEL GROUP, 2018.

de paneles fabricados en Austria, utilizados posteriormente en edificios de 10 niveles construidos en Australia (Lend Lease, 2013), Estados Unidos (Laguarda Mallo y Espinoza, 2014), Taiwán (KLH, 2012), entre otros sitios. En Uruguay se han construido viviendas (Sustent Arq., 2015), una capilla (Mapa, 2017) y un hotel, con paneles importados de Europa, como se aprecia en la figura 4 (Enkel Group, 2018).

En la actualidad, cerca del 90% de la producción mundial se concentra en Europa (Harte, 2017), donde los paneles son fabricados a partir de madera aserrada de clase resistente C24, con una $f_{m,k} = 24$ MPa y un $E_{0,m} = 11000$ MPa,¹ según la norma EN 338 (Aenor, 2016), por ser estas las propiedades de la madera más abundante.

Ahora bien, este modelo de comercialización puede ser discutible desde el punto de vista económico y medioambiental. En primer lugar, parece carecer de sentido la importación de un recurso disponible localmente. En segundo lugar, la utilización de madera estructural en edificios supone un bajo consumo energético tanto en la etapa de explotación forestal como en la transformación posterior de la materia prima en productos terminados, siendo probablemente el material de menor consumo en este rubro en la actualidad (Ramage et al., 2017) El traslado de este volumen de material desde las fábricas en Europa hasta su lugar de montaje, en ocasiones a medio planeta de distancia, no resulta justificable por la huella de carbono resultante.

La oportunidad en Uruguay

AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN

La materia prima local disponible presenta dos características principales. En primer lugar, por tratarse de plantaciones de rápido crecimiento, no alcanza las características mecánicas de las maderas europeas empleadas normalmente en la fabricación de paneles CLT. La norma *UNIT 1261* establece dos calidades visuales para el pino de origen nacional, denominadas calidad EC1 y ECO. La calidad EC1 correspondería a una clase resistente C14 de acuerdo a la norma *EN 338* (Aenor, 2016) y la calidad ECO no encuentra correspondencia por tener menores propiedades mecánicas que la clase mínima establecida en esta norma —le asignaremos una clase teórica «C11»—. En segundo lugar,

dadas las características del mercado local, gran parte de la madera cultivada de pino, un estimado de 1,7 millones de m³ de trozas al año, no tiene destino industrial actual (Dieste, 2012), es decir, sería posible encontrar madera disponible a bajo costo relativo, pero con bajas propiedades mecánicas.

Investigaciones recientes han demostrado la viabilidad técnica de la utilización de paneles realizados con madera de pino uruguayo para su uso en programas de vivienda (Baño, Godoy y Vega, 2016) y puentes (Baño et al., 2017). No obstante, el uso de esta madera para la fabricación de paneles CLT deriva en un aumento de los espesores de los cerramientos de una edificación para cumplir con los mismos requerimientos estructurales, comparado con paneles comerciales. La utilización de madera clasificada visualmente como ECO y EC1 —clase resistente «C11» y C14, respectivamente— para su uso en entresijos de edificios residenciales supone el uso de un 26% más de madera en paneles de 3 capas y del 15% más en paneles de 5 capas (Baño, Godoy, Moya y Domenech, 2018) respecto a los paneles comerciales C24. Mientras que el uso de madera proveniente de raleos forestales, es decir, madera joven cortada antes del fin del ciclo, de propiedades menores que la madera adulta, implica un aumento del volumen de un 18% para vivienda y oficinas y hasta de un 30% para programas con mayor exigencia estructural (Baño, Godoy, Figueredo y Vega, 2018).

CONSIDERACIONES ACERCA DE LA INSERCIÓN DEL SISTEMA A NIVEL LOCAL

En las condiciones actuales, el sistema resulta competitivo para algunos programas arquitectónicos en Uruguay, utilizando paneles importados de Europa (Abergo, 2017; Rognoni, 2019). En el estudio realizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (Dieste et al., 2018) se plantea que es viable económicamente fabricar paneles a un precio similar al del mercado internacional con los costos internos del Uruguay. No obstante, la hipótesis de partida asume una producción anual de 30.000 m³/año, lo cual implicaría necesariamente considerar un mercado potencial más amplio que el uruguayo. Para escalas de producción más pequeñas es necesario realizar nuevos estudios de viabilidad.

En Uruguay, construir edificaciones en madera por proyectos individuales es, en general, más costoso que la construcción tradicional, al igual que en varios países (Vega Cueto, 2017; Ugarte, 2018). Si se pretende hacer competitiva la construcción en madera, el desafío pasa por aumentar la industrialización del sector. Este concepto es más amplio que la mera prefabricación de componentes, puesto que el grado de prefabricación en realidad está relacionado con el grado de industrialización. La misma puede ser definida utilizando la siguiente ecuación (Rollon de la Mata, 2011): industrialización = prefabricación + mecanización + automatización + robotización + racionalización.

Para lograr la industrialización es necesario que se den otros fenómenos, enumerados en la ecuación, los cuales deben estar presentes en la totalidad

1. $f_{m,k}$ = resistencia a flexión característica, $E_{0,m}$ = módulo de elasticidad medio

del hecho constructivo. Por ejemplo, no basta con realizar piezas prefabricadas en un taller con una alta calidad de producto para que el proceso en su conjunto tenga una alta industrialización, por lo que el grado de industrialización siempre estará referido a ciertas condiciones tecnológicas existentes en el medio donde se vaya a producir, que se verifican o no en cada contexto. En las actuales condiciones del mercado, los paneles son importados prontos para armar y esto incluye el proyecto de ingeniería de montaje —procedimientos, planos generados en BIM, cantidad y tipo de anclajes estandarizados según cálculo, etcétera—, siendo la mano de obra para el montaje el único aporte local. El desarrollo local del sistema pasa no solo por la capacidad de producir el panel, sino por lograr el desarrollo de otras capacidades técnicas que permitan lograr la industrialización del proceso.

Para implantar de forma más extendida en el Uruguay el sistema constructivo en base a paneles CLT, con paneles de fabricación local, serían necesarias algunas condicionantes de partida que parecen estar presentes en la actualidad en el Uruguay:

1. Existencia de madera en forma abundante y a un relativo bajo costo, ya que los paneles están constituidos por altas cantidades de material;
2. Existencia de una brecha importante entre el costo de la mano de obra en sitio y el costo de la mano de obra en fábrica, ya que una de las principales fortalezas del sistema constructivo con paneles CLT es su velocidad de montaje en sitio, tres veces más rápida que la construcción tradicional (Kuilen, Ceccotti, Xia y He, 2011);
3. Existencia en el mercado local de interés industrial en diversificar la matriz de productos en base a pino como forma de utilizar un recurso con poca demanda.

La permanencia en el tiempo de estos factores se plantea probable, lo que sustenta a largo plazo la introducción del sistema.

Por último, otro aspecto a discutir es cuál es la mejor estrategia para la introducción en el mercado de este sistema constructivo, más allá del nicho de mercado final al cual se apunte. En opinión de Michael Green, la mejor opción para comenzar en Chile es la realización de edificaciones de alto estándar (Green, 2017). En el mismo sentido, pero para la inserción del CLT en el mercado de los Estados Unidos, se advierte que, una vez superadas ciertas etapas habituales en la adopción del nuevo producto, es el propio consumidor el que se vuelve un promotor en su comunidad (Laguarda Mallo y Espinoza, 2015). Es así que se debe ser muy precavido con la calidad técnica de las primeras construcciones, ya que esos primeros consumidores innovadores pueden influir significativamente en el éxito o no del nuevo sistema.

A modo de ejemplo, los fabricantes de elementos de carpintería y aberturas, frente a la disponibilidad actual de madera nacional, ampliaron su oferta y comenzaron a producir vigas de madera laminada encolada sin adaptar la tecnología de producción, volcando al mercado productos laminados no estructurales, amparados por la inexistencia de un marco regulatorio que esta-

blezca requisitos de fabricación. Estos productos sin especificaciones técnicas son consumidos por usuarios que desconocen las implicancias que conlleva su empleo como material estructural (Pérez Gomar, 2017). Esta situación, si se la proyecta en el tiempo, probablemente produzca fallas en algunos de estos elementos que operarán en contra de la buena reputación de la madera como material para la construcción. En la actualidad, el Comité de Madera Estructural de UNIT está elaborando normativas referentes a los requisitos y las condiciones de fabricación que deben cumplir las piezas de madera laminada encolada. Una rigurosa introducción de la madera estructural debería apoyarse en la incorporación al mercado de productos con prestaciones conocidas, que brinden confianza tanto al diseñador como al usuario.

Conclusiones

La utilización de paneles CLT de madera nacional de bajas propiedades mecánicas es viable técnicamente, pero implica un aumento generalizado de espesores para cumplir con los requisitos de resistencia estructural, si se los compara con los paneles comerciales existentes en el mercado.

No obstante, los aspectos estructurales no son los únicos que definen el espesor de los cerramientos, ya que estos deben cumplir simultáneamente con varios requisitos. Al tratarse de una construcción masiva en madera, el desempeño del cerramiento aumenta si este aumenta en espesor, producto de su condición homogénea vinculada a algunas propiedades físicas del material como la transmitancia térmica, la aislación acústica a ruidos aéreos, la resistencia al fuego, etcétera, por lo que un aumento no es necesariamente una desventaja. Son necesarias futuras investigaciones para establecer la incidencia de dichos parámetros en los costos finales de construcción.

Se trata de un producto estructural, por lo que la fabricación local debe apoyarse en procedimientos de fabricación de acuerdo a una normativa de producto, asegurando la constancia de la calidad y las propiedades a lo largo del tiempo.

Bibliografía

- Aenor. (2016). *EN 338. Madera estructural. Clases resistentes*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Baño, V., Godoy, D., Figueredo, D. y Vega, A. (2018). Characterization and Structural Performance in Bending of CLT Panels Made from Small-Diameter Logs of Loblolly/Slash Pine. *Materials*, 11(12), pp. 24-36. Disponible en: <http://www.mdpi.com/1996-1944/11/12/2436>

- Baño, V., Godoy, D., Moya, L. y Domenech, L. (2018). Influencia de las clases resistentes del pino uruguayo en el diseño de paneles de madera contralaminada. Sao Carlos, Brasil: XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, III Congresso Latinoamericano de Estruturas de Madeira, Ibramem, p. 14.
- Baño, V., Godoy, D. y Vega, A. (2016). Experimental and Numerical Evaluation of Cross-Laminated Timber (CLT) Panels Produced with Pine Timber from Thinnings in Uruguay. *World Conference on Timber Engineering 2016: WCTE 2016, August 22-25, 2016*. S.l.: s.n.
- Baño, V., Mazzeo, C., Godoy, D., Moya, L. y Vega, A. (2017). Fabricación de un prototipo de puente vehicular a partir del desarrollo de productos de ingeniería de madera de pino uruguayo. *II Congreso Latinoamericano de Estructuras de Madera, II Congreso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción*. Junin, Argentina: s.n., p. 11.
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G. y Thiel, A. (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74 (3), pp. 331-351, doi: 10.1007/s00107-015-0999-5.
- CBI. (2015). CBI Product Factsheet : Cross Laminated Timber (CLT) Western Europe. Disponible en: <https://www.cbi.eu/market-information/timber-products/cross-laminated-timber/europe/>
- Ctuh, (2017). River Beech Tower: A tall timber experiment, *CTBUH papers. Journal 2017* [en línea], Disponible en: ctbuh.org/papers (consultado en agosto de 2017).
- Dieste, A. (2012). *Programa de promoción de exportaciones de productos de madera*. Montevideo: Dirección Nacional de Industrias del MIEM.
- Dieste, A., Cassella, F., Moltini, G., Palombo, V., Clavijo, L., Cabrera, M.N. y Baño Gómez, V. (2018). Forest-based bioeconomy areas Strategic products from a technological point of view. Montevideo: Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Disponible en: https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2016/25086/FING_Forest-based Bioeconomy Areas.pdf
- Enkel group. (2018). *Hotel La Juanita*. Comunicación personal.
- Green, M. (2013). *Por qué debemos construir rascacielos de madera* [en línea]. TED 2013. Disponible en: www.ted.com.
- Green, M. (2017). Conferencia. *Semana de la madera*. Santiago de Chile, 24 de agosto de 2017.
- Harte, A. M. (2017). Mass timber – the emergence of a modern construction material. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 2 (3), pp. 121-132, doi: 10.1080/24705314.2017.1354156. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24705314.2017.1354156>
- KLH, Edificio Woodtek HQ (s.f). Disponible en: <https://www.klh.at/es/references/projects/woodtekhq>
- Kuilen, J. W. G. V., De, Ceccotti, A., Xia, Z., y He, M. (2011). Very Tall Wooden Buildings with Cross Laminated Timber. *Procedia Engineering*, 14, pp. 1621–1628. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.204>
- Laguarda Mallo, M. F. y Espinoza, O. (2014). Outlook for Cross-Laminated Timber in the United States, 9, pp. 7427–7443.
- Laguarda Mallo, M.F. y Espinoza, O. (2015). Awareness, perceptions and willingness to adopt Cross-Laminated Timber by the architecture community in the United States. *Journal of Cleaner Production*, vol. 94, n° february, pp. 198-210, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.01.090.
- Lend Lease. (2103). *Forté building* web page [en línea]. Disponible en: www.forteliving.com, au (consultado el 5 de enero de 2016).
- MAPA. (2017). *Capilla Sacromonte* [en línea]. Disponible en: <https://mapaarq.com/cap> (consultado el 9 de agosto de 2019)
- Moelven Limtre. (2019). *Mjøstårnet* [en línea]. Disponible en: <https://www.moelven.com/mjostarnet/> (consultado el 27 de agosto de 2019).
- Peraza Sánchez, J. E. (1995). *Casas de madera: los sistemas constructivos a base de madera aplicados a las viviendas unifamiliares*. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. Disponible en: <http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=st1kDBi-TvYC&pgis=1>
- Pérez Gomar, C. (2017). *Optimización del proceso productivo de vigas de madera laminada encolada para uso estructural El caso de una empresa en Uruguay*. Universidad del Bío Bío.
- Plackner, H. (2015). *Brettsperholz wächst global*. Disponible en: https://www.holzkurier.com/schnittholz/2015/02/brettsperholz_waechstglobal.html (consultado el 5 de agosto de 2019).
- PLP Architecture. (2018). Oakwood Timber Tower, London, UK. Research Proposal. Disponible en: www.plparchitecture.com/oakwood-timber-tower.html (consultado el 6 de febrero de 2018).
- Ramage, M. H., Burrige, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U. y Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68 (September 2016), pp. 333–359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107>
- Rollon de la Mata, J. (2011). *Influencia del grado de industrialización en la planificación de una obra*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Sustent Arq. (2015). *Casas sustentables*. Disponible en: <https://www.youtube.com/channel/UChKa9ETgG48r8ruYt4Bw> (consultado el 9 de febrero de 2018).
- Ugarte, J. J. (2018). *Profesionales de la madera en el siglo XXI: nuevas trayectorias formativas*. Conferencia Universidad ORT 14/6/2018.
- Vega Cueto, A. (2017). Comunicación personal. Centro Tecnológico Forestal y de la Madera, Asturias, España.
- Woschitz Group. (2019). HoHo (Wooden tower) Vienna. Disponible en: <https://www.woschitzgroup.com/en/projects/hoho-vienna-wooden-tower/> (consultado el 27 de agosto de 2019).