



VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL CON PANELES CLT DE PINO URUGUAYO

FEASIBILITY OF THE CONSTRUCTION OF SOCIAL DWELLINGS USING CLT PANELS FROM URUGUAYAN PINE

Godoy, Daniel ^{(1)*}; Baño, Vanesa ⁽²⁾

⁽¹⁾ Dr. Arquitecto. Instituto de Ensayo de Materiales, Facultad de Ingeniería. Universidad de la República.
Montevideo, Uruguay

⁽²⁾ Dra. Ingeniera. Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería. Universidad de la República.
Montevideo, Uruguay / CESEFOR, Soria, España.

* Contacto: dgodoy@ing.edu.uy

CÓDIGO: 4600893

Resumen

La vivienda de interés social presenta algunas características que la hacen particularmente apta para su prefabricación, como ser la realización de barrios completos, las tipologías repetitivas y, en ocasiones, la necesidad de una rápida construcción. El CLT como sistema constructivo requiere de un elevado volumen de madera, por lo que es deseable que la materia prima esté disponible localmente y sea económica. En Uruguay existe alta disponibilidad de madera de pino disponible para propuestas industriales, cuyas propiedades mecánicas son bajas (clase resistente $\leq C14$). El objetivo del trabajo es estudiar la viabilidad técnica y económica de realizar este tipo de viviendas con paneles CLT fabricados con pino de origen nacional y compararlo con la construcción con paneles de origen extranjero. Para ello se realizó un estudio de caso de viviendas de interés social construidas con paneles CLT fabricados con madera uruguaya clasificada visualmente según UNIT 1261 y con paneles comerciales de origen europeo de clase resistente C24. Para ambos casos se analizó el dimensionamiento estructural, la resistencia al fuego y la transmitancia térmica exigibles para esta clase de viviendas en Uruguay asociados al costo económico. Los resultados mostraron que el costo del metro cuadrado construido con paneles CLT de origen local resultó menor que con CLT importado y equivalente al de la construcción tradicional en Uruguay para viviendas de interés social.

Palabras-clave: madera contralaminada (CLT), vivienda de interés social,, bajas propiedades mecánicas

Abstract

Social housing has some characteristics that make it particularly suitable for prefabrication, such as the building of complete neighborhoods, repetitive typologies and, sometimes, the need for rapid construction. This building system requires a high volume of wood, so it is desirable that the raw material be economical and locally available. In Uruguay there is pine wood available for industrial proposals, whose mechanical properties are low (strength class $\leq C14$). The objective of the work is, therefore, to study the technical and economic feasibility of building social housing using cross-laminated timber panels (CLT) from Uruguayan pine and to compare its yield regarding the construction using commercial CLT panels imported from Europe. To achieve this objective, a case study of social dwellings built using CLT panels manufactured using Uruguayan pine visually graded according to UNIT 1261 and using commercial panels from Europe (strength class C24) was analyzed. For both cases, the structural design, fire resistance and thermal transmittance was studied, associated to the economic costs. Results showed that the cost per square meter built with Uruguayan CLT panels was lower than with imported commercial CLT panels, and equivalent to the traditional construction in Uruguay for social housing.

Keywords: Cross Laminated Timber (CLT), social housing, timber, low mechanical properties



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los paneles de madera contralaminada (CLT) son un producto apto para su venta y construcción a nivel global, existen experiencias de paneles fabricados en Austria y utilizados en edificios de 10 niveles construidos en Australia (Lend Lease 2013), en Estados Unidos de Norteamérica (Laguarda Mallo y Espinoza 2014), mientras que en Uruguay se han construido viviendas y un hotel con paneles importados de Italia (Enkel Group 2018). Este modelo puede ser discutible desde el punto de vista medioambiental y económico. En primer lugar, por la huella de carbono resultante de un traslado de este volumen de material por más de medio planeta y, en segundo lugar, por la disponibilidad de la materia prima de forma local.

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 (Moya et al. 2013). En segundo lugar, dadas las características del mercado local, gran parte de la madera cultivada de pino no tiene destino comercial (Dieste 2013). Es decir que sería posible encontrar madera disponible a bajo costo relativo, pero de bajas propiedades mecánicas (menores a las maderas europeas).

Varios autores han estudiado la viabilidad de fabricar paneles CLT utilizando recursos locales, que se tratan principalmente de especies de rápido crecimiento y de bajas propiedades mecánicas. Se ha estudiado el uso de pino radiata en Nueva Zelanda (Fortune y Quenneville 2011), de pino del sur en los Estados Unidos (Hindman y Bouldin 2015), de Sitka Spruce plantado en Irlanda (Sikora, McPolin y Harte 2016), de Sugi en Japón (Okabe et al. 2014), entre otros. La principal ventaja del sistema constructivo con paneles CLT está en la cantidad de madera que utiliza y no en su calidad (Steiger 2016). La norma de clasificación visual de pino Uruguayo UNIT 1261 (UNIT 2018), de reciente publicación, define dos calidades de madera denominadas EC1 y EC0, cuyas propiedades mecánicas se muestran en la tabla 1. Las propiedades físico-mecánicas de la madera clasificada visualmente como EC1 se ajustan a la clase resistente C14 de la norma europea EN 338 (AENOR 2016), mientras que a la calidad visual EC0 no es posible asignarle una clase resistente por dicha norma, por presentar valores inferiores a la menor clase reconocida. Para este trabajo la designaremos como una clase teórica “C11”.

Tabla 1 – Valores característicos de las calidades visuales EC1, EC0 (UNIT 1261)

Propiedad	EC1	EC0
Resistencia característica a flexión, $f_{m,k}$ (MPa)	15,5	11,0
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra, $E_{0,mean}$ (MPa)	7139	5327
5° percentil de la densidad, ρ_k (kg/m ³)	365	332

En un primer análisis del sistema constructivo que emplea paneles de madera contralaminada como forma de construir, puede suponerse que es un sistema costoso, debido al elevado volumen de madera que consume, y esto presenta una dificultad a la hora de alcanzar un precio competitivo (Calderon 2017). La posible aplicación de esta tecnología para la vivienda de interés social en Sudamérica se ve comprometida debido a estos factores, pues este segmento del mercado está fuertemente determinado por el costo



de construcción, ya que las instituciones estatales pretenden disponer de la mayor cantidad posible de unidades en el marco de presupuestos siempre acotados.

No obstante, para implantar el sistema constructivo en base a paneles de madera contralaminada son necesarias algunas condicionantes de partida, que parecen estar presentes en la actualidad en el Uruguay:

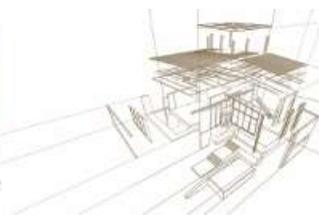
- i) Existencia de madera en forma abundante y a bajo costo, ya que los paneles están constituidos por altas cantidades de material.
- ii) Existencia de una brecha importante entre el costo de la mano de obra en sitio y el costo de la mano de obra en fábrica. En el caso del Uruguay, el fenómeno de la caída de rendimiento de la mano de obra en el sector de la construcción es notorio (Cagnoli 2015). De acuerdo con el Centro de Estudios Económicos de la Industria de la Construcción (Capurro, Oddone y Rego 2017), considerando el período 1996-2015, las obras recientes insumieron un 20% más de mano de obra que en el comienzo del período, tomando como indicador el pago de jornales por metro cuadrado construido, se pasó de 6,1 a 7,3 jornales en el período considerado, sumado a una mejora de la productividad esperable de más del 10% por la incorporación de nueva tecnología en el sector, que no se verificó en los hechos, permite concluir que existe un diferencial de productividad cercano al 30% en la mano de obra empleada para la construcción de viviendas.
- iii) Existencia en el mercado local de interés industrial en diversificar la matriz de productos en base a pino, de acuerdo al Plan de Acción Integral del Consejo Sectorial Forestal-Madera (CSFM 2013).

Por lo expuesto, el objetivo del presente trabajo es estudiar la viabilidad técnica y económica de realizar viviendas de interés social con paneles CLT fabricados con pino de origen nacional y compararlo con la construcción tradicional y con paneles de origen extranjero.

2. METODOLOGÍA

Se analizó el comportamiento estructural a flexión (para su uso en entrepisos o cubiertas) y a flexo-compresión (para su uso en muros) de paneles CLT de 3 capas realizados con madera de calidades EC1 y EC0, para una sobrecarga de uso de vivienda (2 kN/m^2). A partir de los resultados obtenidos fueron dimensionados los cerramientos necesarios para resolver una vivienda de interés social de 2 dormitorios. Los cerramientos se diseñaron de modo tal, que el espesor del panel CLT por si solo pudiera alcanzar la prestación requerida, es decir, cumpliera con la resistencia estructural, la resistencia en condición de incendio de 30 minutos y el coeficiente de transmitancia térmica exigido, no siendo necesaria la incorporación de otros materiales complementarios. Se consideró un diseño tipo de cerramiento conformado por un panel de CLT, una barrera impermeable, una cámara ventilada y un revestimiento exterior. Cabe mencionar, que esta opción no es la más rentable desde el punto de vista económico, pero se asumió para reducir la casuística.

Los requisitos técnicos a cumplir fueron obtenidos del documento Estándares de Desempeño y Requisitos para la Vivienda de Interés Social (MVOTMA 2011), en donde se establecen dos categorías de viviendas: i) Nivel 1, en donde la transmitancia térmica debe ser menor a $U=1,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en paredes y de $U=1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en techos, y ii) Nivel



2, en donde la transmitancia térmica debe ser menor a $U=0,85\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ en todos los cerramientos.

Se realizaron estimaciones del costo de los paneles CLT para dos casos: i) paneles comerciales, se consideraron paneles de origen Europeo de clase resistente C24, en donde se tomó el precio de mercado promedio y se incluyó los costes resultantes del proceso de importación al mercado local (transporte, seguros, tasas aduaneras e impuestos), y ii) paneles de fabricación local, dado que no existe productores locales los costos fueron obtenidos de (Dieste et al. 2018), asumiendo una diferencia entre el costo de la madera de clase EC1 y EC0 del 20%.

3. RESULTADOS

En la Figura 1 se muestra la relación entre el espesor total del panel y la luz libre que salvan los paneles de 3 capas trabajando a flexión, para las clases resistentes “C11”, C14 y C24. Se dimensionaron para dos condiciones: sin exigencias de resistencia a fuego (R0) y para un tiempo de resistencia de 30 minutos (R30), la cual es la exigida en viviendas de altura menor a 7 metros. En la misma se muestra el máximo espesor de panel posible determinado por la norma EN 16.351 (AENOR 2015), la cual limita el espesor máximo de lámina. Como puede apreciarse, la condición R30 no resulta la determinante en la elección del espesor del panel, siendo la combinación la condición R0 y aislamiento térmica deseada los parámetros determinantes. Las luces máximas en flexión para paneles “C11” y C14, limitadas por el espesor máximo de lámina, son razonables para su uso en entresijos y cubiertas de programas de vivienda.

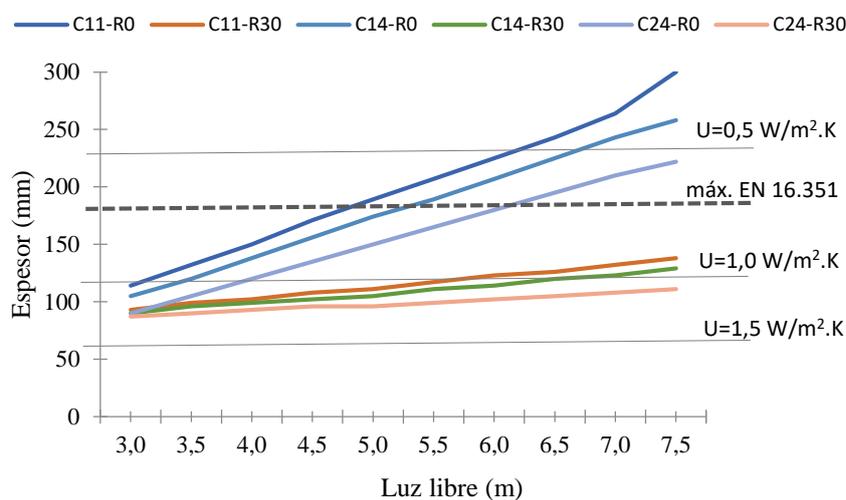


Figura 1: Relación entre espesor, luz libre en flexión y transmitancia térmica

La figura 2 muestra la relación entre espesor, luz libre en flexocompresión (para su uso en muros) y transmitancia térmica. Para las luces analizadas los espesores resultantes están todos por debajo del tamaño máximo limitado por la norma EN 16.351 (AENOR 2015) de 180 mm para paneles de 3 capas. La condición de incendio R30 es el determinante del espesor del cerramiento por sobre la condición sin situación de



incendio. Como puede apreciarse, para alturas de muros habituales en el caso analizado, en el entorno de los 3 metros de luz, es necesario dimensionar el muro por su transmitancia térmica para viviendas de Nivel 1 y 2, ya que el valor obtenido por los requerimientos estructurales está por debajo del nivel de confort térmico requerido.

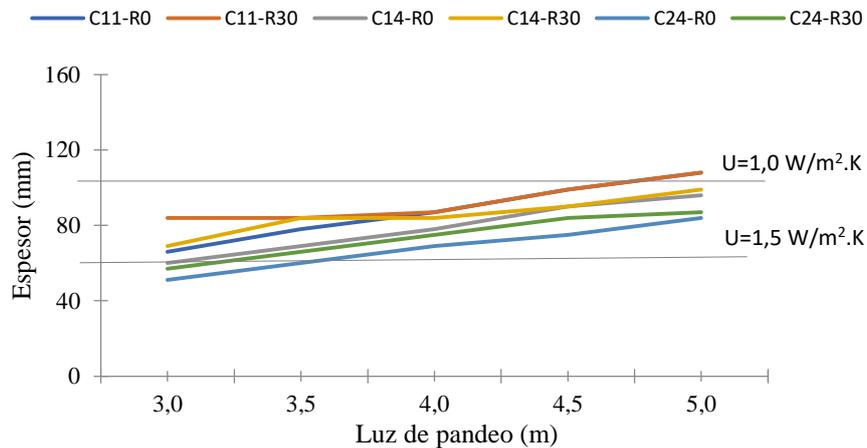


Figura 2: Relación entre espesor, luz libre en flexocompresión y transmitancia térmica

De acuerdo al dimensionamiento obtenido de los cerramientos se procedió a calcular el costo de construcción de una vivienda de interés social tipo de 2 dormitorios, para los Niveles 1 y 2, y para paneles CLT de clase resistente “C11”, C14 y C24. La tabla 2 muestra los costos por metro cuadrado construido para las distintas combinaciones.

Tabla 2: Valor del m² construidos con paneles CLT

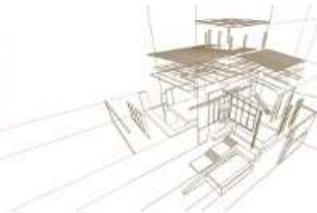
CLT	C11	C14	C24
	U\$\$/m ²	U\$\$/m ²	U\$\$/m ²
Nivel 1	1.295	1.339	1.446
Nivel 2	1.388	1.476	1.695

A modo comparativo en la tabla 3 se muestran los precios máximos de tasación por metro cuadrado construido para vivienda de interés social en Uruguay en formato de cooperativa de vivienda, para construcción tradicional y para sistemas constructivos considerados no tradicionales, y que cuentan la aprobación por parte del estado (MVOTMA 2019).

Tabla 3: Valores máximos de tasación para viviendas de interés social.

Sistema constructivo	1	2	3	4	5
	U\$\$/m ²				
2 dormitorios (55 m ²)	1.338	1.147	1.010	1.010	896

1. Construcción tradicional / 2. steel framing + placa cementicia + mortero proyectado / 3. paneles de poliestireno expandido revestidos en chapa / 4. paneles prefabricados de hormigón + aislaciones / 5. paneles SIP

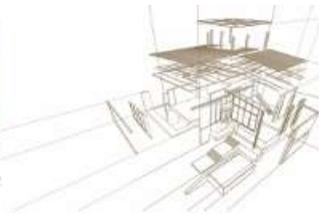


4. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los valores obtenidos, resultaría más rentable desde el punto de vista económico construir viviendas de interés social con paneles de fabricación local, realizados a partir de madera clasificada visualmente como EC1 y EC0, que con paneles comerciales importados de Europa, pese a sus menores propiedades mecánicas.
- Construir vivienda de interés social con paneles con maderas locales resultaría competitivo con la construcción tradicional in situ, realizada con hormigón armado y mampostería colocada por vía húmeda.
- Las viviendas realizadas con paneles locales serían más caras que otros sistemas prefabricados existentes en el mercado para la vivienda de interés social. No obstante, la mayoría de los sistemas alternativos son realizados con productos importados, frente a lo cual se podría considerar discutir su conveniencia, desde el punto de vista del desarrollo local, de su huella ecológica, entre otros aspectos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR, *EN 16351. Estructuras de madera. Madera contralaminada. Requisitos*. 2015. S.l.: s.n. 2015.
- AENOR, *EN 338. Madera estructural. Clases resistentes*. 2016. S.l.: s.n. 2016.
- CAGNOLI, Ariel, Según constructores es imposible bajar precio de las viviendas *Presidente de la Asociación de Promotores Privados de la Construcción del Uruguay. Entrevista Diario El país, 10 de marzo de 2015.*, 2015.
- CALDERON, Jorge, *Comunicación personal*. 2017. Concepción, Chile: Gerente de CRULAMM. 2017.
- CAPURRO, Alfonso, ODDONE, Gabriel y REGO, Santiago, *La productividad en la industria de la construcción*. S.l.: 2017.
- CSFM, *Puesta a punto [en línea]*. Rivera, Uruguay: Disponible en: <http://gp.gub.uy/sites/default/files/documentos/csfm-avances-18-03-2014-rivera.pdf>. 2013.
- DIESTE, Andrés, *Programa de promoción de exportaciones de productos de madera*. Montevideo: 2013.
- DIESTE, Andrés, CASSELLA, Francisco, MOLTINI, Gonzalo, PALOMBO, Viviana, CLAVIJO, Leonardo, CABRERA, María Noel y BAÑO GÓMEZ, Vanesa, *Forest-based bioeconomy areas Strategic products from a technological point of view*. S.l.: 2018.
- ENKEL GROUP, *Hotel La Juanita*. 2018. S.l.: Comunicación personal. 2018.
- FORTUNE, P. y QUENNEVILLE, A.L., *A feasibility study of New Zealand Radiata Pine crosslam* *21st Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*. Melbourne, VIC: s.n., pp. 885-889. 2011.
- HINDMAN, Daniel P. y BOULDIN, John C., *Mechanical Properties of Southern Pine Cross-Laminated Timber* *Journal of Materials in Civil Engineering* [en línea], vol. 27, no. 9, pp. 04014251. ISSN 0899-1561. DOI 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001203. Disponible en: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0001203>. 2015.
- LAGUARDA MALLO, María Fernanda y ESPINOZA, Omar, *Outlook for Cross-Laminated*



- Timber in the United States, vol. 9, no. Evans 2013, pp. 7427-7443. 2014.
- LEND LEASE, Forté building web page [en línea]. [Consulta: 5 enero 2016]. Disponible en: www.forteliving.com.au. 2013.
- MOYA, Laura, LAGUARDA, María F., CAGNO, Matías, CARDOSO, Andrea, GATTO, Francisco y O'NEILL, Hugo, Physical and Mechanical Properties of Loblolly and Slash Pine Wood from Uruguayan Plantations *Forest Products Journal* [en línea], vol. 63, no. 3-4, pp. 128-137. ISSN 0015-7473. DOI 10.13073/FPJ-D-13-00024. Disponible en: <http://forestprodjournals.org/doi/abs/10.13073/FPJ-D-13-00024>. 2013.
- MVOTMA, *Estándares de Desempeño y Requisitos para la Vivienda de Interés Social*. 2011. S.l.: Ministerio de Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. 2011.
- MVOTMA, *Resolucion ministerial 377/2019*. 2019. Uruguay: Ministerio de Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. 2019.
- OKABE, Minoru, YASUMURA, Motoi, KOBAYASHI, Kenji y FUJITA, Kazuhiko, Prediction of bending stiffness and moment carrying capacity of sugi cross-laminated timber *Journal of Wood Science*, vol. 60, no. 1, pp. 49-58. ISSN 14350211. DOI 10.1007/s10086-013-1377-8. 2014.
- SIKORA, Karol S., MCPOLIN, Daniel O. y HARTE, Annette M., Effects of the thickness of cross-laminated timber (CLT) panels made from Irish Sitka spruce on mechanical performance in bending and shear *Construction and Building Materials* [en línea], vol. 116, pp. 141-150. ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.145. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.145>. 2016.
- STEIGER, R., *Comunicacion personal*. 2016. S.l.: s.n. 2016.
- UNIT, *UNIT 1261. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural – Madera de pino taeda y pino ellioti (Pinus taeda y Pinus elliotii)*. 2018. S.l.: Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. 2018.