

Evaluación de las características elasto-resistentes de paneles CLT de pino elliotti-taeda de Misiones, Argentina.

Evaluation of the elasto-resistant characteristics of CLT panels of elliotti-taeda pine from Misiones, Argentina.

Presentación: 17/10/2023

Andrea D. Tosco

UTN Facultad Regional Venado Tuerto
atosco@frvt.utn.edu.ar

Resumen

El uso de paneles de madera laminada cruzada o CLT (del inglés Cross Laminated Timber) se está expandiendo a nivel global, principalmente impulsado por países europeos y Norteamérica. El CLT es un producto de alto valor agregado que se destaca por su resistencia, prefabricación y sostenibilidad ambiental. En América del Sur, Chile y Uruguay lideran el desarrollo del CLT. En Argentina aún no hay producción comercial, pero una empresa neuquina, con asesoramiento del INTA Bariloche, desarrolló los primeros paneles. Para evaluar las propiedades mecánicas y elasto-resistentes de los mismos, se fabricaron 6 probetas de 100 x 350 x 2950 mm con 5 capas de tablas de madera aserrada de Pino elliotti-taeda de plantaciones misioneras de 1" x 8" ubicadas de forma perpendicular entre capas y encoladas con adhesivo estructural. Los ensayos experimentales iniciados recientemente por el Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles (GIDEC) de UTN Venado Tuerto, permitirán caracterizar el comportamiento estructural de estos paneles. Los resultados serán clave para estandarizar la producción, optimizar procesos y avanzar hacia una futura producción comercial de CLT en Argentina, aprovechando la disponibilidad de madera de plantaciones de rápido crecimiento.

Palabras clave: CLT; Madera Laminada Cruzada; Pino elliotti-taeda

Abstract

The use of cross-laminated timber (CLT) panels is expanding globally, mainly driven by European countries and North America. CLT is a high value-added product that stands out for its strength, prefabrication, and environmental sustainability. In South America, Chile and Uruguay lead the development of CLT. In Argentina there is still no commercial production, but a company from Neuquén, with advice from INTA Bariloche, developed the first panels. To evaluate their mechanical and elasto-resistant properties, 6 specimens of 100 x 350 x 2950 mm were manufactured with 5 layers of 1" x 8" sawn boards of *Pinus elliottii*-taeda from Misiones plantations positioned perpendicularly between layers and glued with structural adhesive. The experimental tests recently initiated by the Civil Structures Research and Development Group (GIDEC) of the Technological National University Venado Tuerto, will allow characterizing the structural behavior of these panels. The results will be key to standardizing production, optimizing processes, and advancing towards the future commercial CLT production in Argentina, taking advantage of the availability of fast-growing plantation timber.

Keywords: CLT; Cross Laminated Timber; Pino elliotti-taeda

1. Introducción

La "Construcción Sólida de Madera" o "Mass Timber" involucra el empleo de materiales de construcción compuestos por capas de madera de grado estructural. Esta categoría incluye a la Madera Laminada Encolada o GLT (del inglés Glued Laminated Timber) y la Madera Laminada Cruzada o CLT, que demuestran una resistencia significativa ante cargas diversas. Estos materiales son eficientes y seguros para diversas tipologías edilicias, compitiendo con éxito en términos de resistencia y costos frente al hormigón y al acero, y superándolos en sostenibilidad y rapidez de construcción. Figura 1.

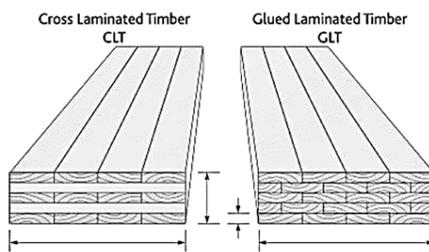


Figura 1. CLT y GLT (Fuente: CLT Handbook)

Específicamente, el CLT ha elevado las propiedades del material en términos de estabilidad dimensional, resistencia, reacción al fuego y humedad. Es por ello que en los últimos años ha cobrado gran relevancia en la industria de la construcción, siendo protagonista de muchos desarrollos destacados a nivel mundial. El CLT es un sistema prefabricado compuesto por capas de tablas de madera, apiladas de forma cruzada en relación a la orientación de las fibras (comúnmente en sentido perpendicular) y encolados entre sí mediante presión. Además de la cola, algunas variantes utilizan clavos y tornillos para madera. Normalmente suele utilizarse un número impar de capas de paneles (entre 3 y 9) manteniendo el perfil transversal simétrico.

Colocar las tablas en sentido contrario apilados uno sobre otro, proporciona al producto final, un comportamiento bidireccional: cuando la carga actúa en el plano paralelo a los tablones del panel ('in-plane') actúa como una viga, donde estos soportan los esfuerzos de cortante (cizalladura) y axil y transmiten la carga al resto de elementos estructurales; cuando la carga actúa perpendicularmente al plano del panel ('out-of-plane') este actúa como una losa, se denomina elemento tipo placa, trabaja a flexión y cortante en las dos direcciones de su plano. Figura 2.

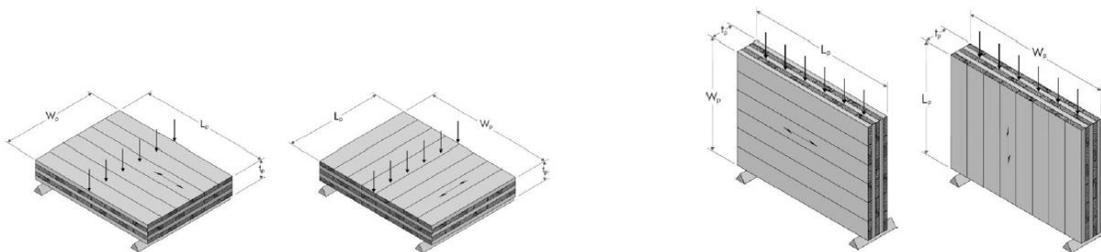


Figura 2. Orientaciones de CLT (Fuente: CLT Design – M. Mahamid)

En Argentina, con extensos bosques cultivados altamente productivos, existe un escenario propicio para la producción forestal. No obstante, la fabricación de paneles es incipiente y carece de regulaciones y estudios sobre las propiedades estructurales de la madera proveniente de bosques cultivados. Para impulsar esta actividad, resulta esencial la colaboración público-privada y la implementación de políticas gubernamentales.

Dado el auge global del CLT, es fundamental aprovechar las especies autóctonas argentinas, evaluar su resistencia y durabilidad, y determinar las mejores prácticas para convertirlas en paneles de CLT, adaptando la producción y aplicación a los recursos y particularidades nacionales. Esta perspectiva no solo fomentará el uso de materiales locales y sostenibles, sino que también promoverá el crecimiento económico y la innovación en la industria de la construcción.

En el 2022 una empresa neuquina, con asesoramiento del INTA Bariloche, desarrolló los primeros paneles con la especie misionera Pino elliotti-taeda.

Comparando las propiedades mecánicas de diferentes especies de coníferas y latifoliadas cultivadas en Argentina, el *Pinus taeda* L. y *Pinus elliottii* Engelm. (pino taeda y pino elliotti), cultivados en el noreste argentino presenta valores característicos inferiores a los del pino paraná (*Araucaria angustifolia*) en Misiones y el eucalipto *grandis* en Entre Ríos, Corrientes y Misiones. Sin embargo, muestra propiedades superiores a las de *Populus deltoides* cv. ‘Australiano 106/60’ y ‘Stoneville 67’ (álamo) en el delta del río Paraná y el *Pinus ponderosa* Douglas ex Lawson (*Pinus ponderosa*) en la Patagonia norte (Neuquén, Río Negro y Chubut). Esto posiciona al pino elliotti-taeda con valores intermedios respecto a las principales coníferas y latifoliadas de rápido crecimiento cultivadas en el país, impactando en su costo. Otra ventaja es que se trata de una de las especies con mayor superficie cultivada en el país. Tiene aproximadamente 380.000 hectáreas plantadas (AIFBN, 2022), ubicándose solo por detrás del eucalipto *grandis* en cuanto a extensión (418.000 ha, INTA 2021). Esta amplia disponibilidad de materia prima permite acceder a volúmenes importantes para su procesamiento industrial. En cambio, especies como el pino paraná, pino ponderosa y álamo tienen una menor superficie de cultivo implantada actualmente. Por ejemplo, el pino paraná cuenta con 60.000 hectáreas aproximadamente (DFIM, 2021). Por lo tanto, la extensa base de plantaciones de pino elliotti-taeda en Argentina brinda una ventaja en términos de escala productiva y acceso a materia prima abundante para desarrollar productos de madera como el CLT.

2. Materiales y Métodos

La empresa neuquina comenzó a fabricar en sus instalaciones paneles prototipo de 2350 x 3000 x 100 mm (ancho, espesor, longitud), de 5 capas de tablas de madera aserrada de Pino elliotti - taeda proveniente de plantaciones misioneras. Las tablas son de 1” x 8” ubicadas de forma perpendicular entre capas y encoladas con adhesivo estructural. Para las capas exteriores y central utilizaron tablas de clase resistente 1, mientras que las intermedias emplearon clase 2. Las tablas fueron encoladas con adhesivo estructural y unidas mediante prensado mecánico, según lo establece la norma IRAM 9660 -1 (2013) “Clases de resistencia y requisitos de fabricación y de control para madera laminada encolada estructural”.

En la Tabla 1 pueden hallarse los valores de diseño de referencia admisibles para las dos clases resistentes de tablas de las especies *Pinus taeda* L. y *Pinus elliottii* Engelm, las cuales no se diferencian comercialmente. Estos valores se encuentran en el Suplemento Argentino de Estructuras de Madera. CIRSOC 601.

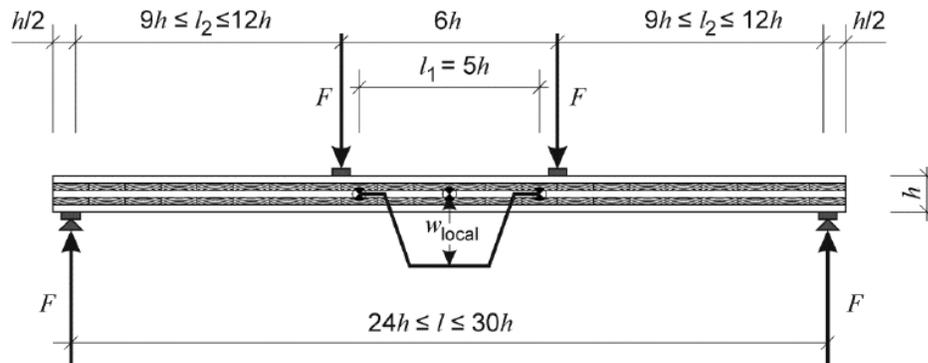
Clase de resistencia	E [N/mm ²]	Fb [N/mm ²]	$\rho_{0,05}$
1	7700	6,2	420
2	6500	3,2	390

Tabla 1. Valores de diseño de referencia admisibles para tablas de *Pinus taeda* L. y *Pinus elliottii* Engelm. (pino taeda y pino elliotti) (N/mm²) clasificadas por resistencia conforme a la norma IRAM 9662-3 (2015).

Con motivo de evaluar sus propiedades mecánicas y elastoresistentes, se subdividieron los paneles en probetas de 350 x 100 x 2950 mm. Para la caracterización físico-mecánica se realizan ensayos estandarizados de flexión, corte por rodadura y compresión, siguiendo los lineamientos de la Norma UNE-EN 16351:2017. Los ensayos se llevan a cabo en el laboratorio del Grupo GIDEC de la FRVT, que cuenta con el equipamiento necesario. Como resultado se obtienen: módulos de elasticidad local, global y de rodadura; evaluación de la delaminación; y la densidad de las probetas.

Configuración del ensayo a flexión:

Mediante este tipo de ensayos se determina el módulo de elasticidad, la resistencia a flexión y resistencia al momento flector. Tal y como recoge la norma UNE-EN 16351, se realizan siguiendo la Norma EN 408 con ciertos requisitos particulares. Los ensayos se inician a partir de probetas acondicionadas en cámara a $65 \pm 5 \%$ de humedad y $20 \pm 2^\circ$ de temperatura.



Leyenda

- h Altura de la probeta
- l Luz de la probeta
- l_1 Longitud de referencia para medir w_{local}
- w_{local} Flecha medida sobre la longitud de la zona exenta de esfuerzo cortante de rodadura

Figura 4. Ensayo de flexión de madera contralaminada con cargas perpendiculares a su plano.

Las probetas se encuentran simplemente apoyadas, se cargan en flexión mediante dos cargas puntuales separadas 6 veces la altura de la probeta ($6h$) y apoyada sobre dos puntos simétricos con una luz igual a 24 veces la altura ($24h$) tal y como se describe en la Fig. 4. Las cargas se aplican con una velocidad constante, sin superar los $0,30 \text{ mm/s}$. Se registran escalones de carga- deformación cada 250kg hasta los 2000kg , luego se quitan los comparadores y se lleva hasta la rotura.

El módulo de elasticidad local en flexión se determinará mediante dos extensómetros colocados a ambos lados de la viga y apoyados sobre dos puntos situados en el eje neutro, separados 5 veces la altura de la probeta ($5h$) tal y como se indica en la Fig. 4. El valor medio del módulo de elasticidad local se toma como la media de los módulos determinados a partir de cada uno de los extensómetros.

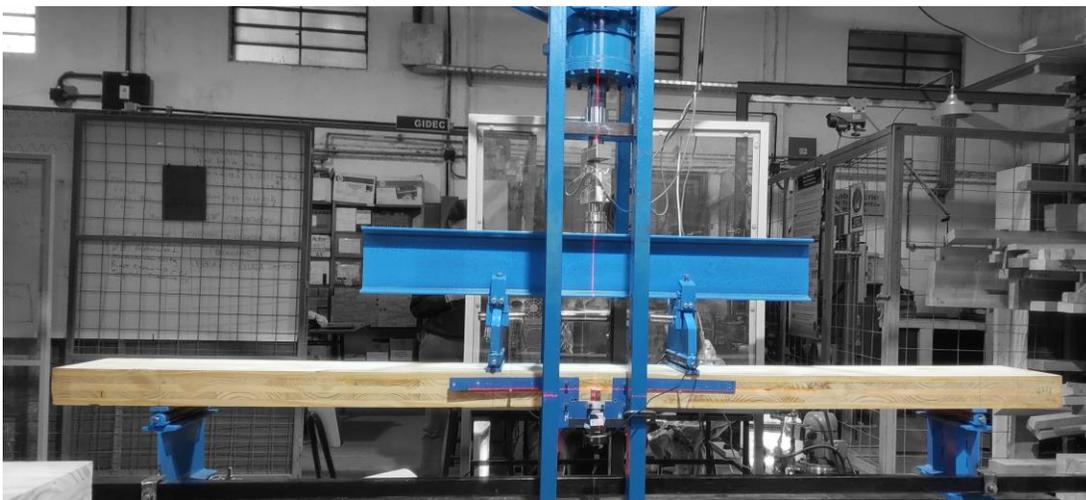


Figura 5. Ensayo de flexión de madera contralaminada con cargas perpendiculares a su plano. Laboratorio FRVT.

3. Resultados y discusión

Los ensayos de flexión de las probetas de CLT se iniciaron en septiembre. Hasta el momento se obtuvieron resultados de ensayos a flexión de dos muestras.

La probeta N°1 alcanzó una carga de rotura de 2700 kg a los 4 min 30 seg de inicio del ensayo. Se observó una falla por cizalladura longitudinal entre la capa inferior y la inmediata superior, Figura 6. Esto indicaría una unión encolada deficiente entre dichas capas, ya que el adhesivo se encuentra solo en una cara mientras que la adyacente no presenta restos. Como se aprecia en la Figura 7, el adhesivo habría quedado aplicado en una única superficie.



Figura 6 y 7. Rotura de la probeta N°1. Cizalle longitudinal. deficiente unión encolada.

La probeta N° 2 presentó una carga de rotura de 3400 kg a los 5 min 6 seg de inicio del ensayo. Se observó una falla de flexo-tracción de la capa inferior que es la más solicitada ante este tipo de carga o de las capas involucradas en la flexo-tracción del panel, propia del tipo de carga aplicada. Cabe destacar que la falla no se presentó en el centro longitudinal del panel, sino que más cercana a uno de los apoyos, esto se puede apreciar en la Figura 8. También puede observarse que la falla implica un consecuente despegue de la tabla superior en la zona de rotura.



Figura 8 y 9. Rotura de la probeta N°2. Falla por flexo-tracción.

4. Conclusiones

Los resultados de sólo dos muestras ensayadas son insuficientes para obtener conclusiones sobre el comportamiento estructural de los paneles. Se requiere completar la serie de ensayos previstos en el proyecto para realizar una evaluación integral y arribar a conclusiones sólidas.

No obstante, la falla por deficiencia en el encolado observada en una probeta indica la necesidad de optimizar junto a la empresa el proceso de fabricación. Lograr uniones homogéneas y resistencias de encolado adecuadas es indispensable para garantizar un producto final de calidad.

Los ensayos realizados hasta el momento constituyen una evaluación preliminar. El análisis completo con todas las muestras previstas permitirá caracterizar rigurosamente el desempeño estructural del panel y detectar aspectos a mejorar en pos de la estandarización del producto.

Referencias bibliográficas

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles. (2016). Suplemento Argentino de Estructuras de Madera. CIRSOC 601. Buenos Aires.

IRAM 9660-1 (2013). Clases de resistencia y requisitos de fabricación y de control para madera laminada encolada estructural. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.

IRAM 9664 (2011). Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.

European Comité for Standardization (2017). Timber structures - Cross laminated timber - Requirements. EN 16351:2017. Brussels

European Comité for Standardization (2011). Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties. EN 408:2011. Brussels

Asociación Forestal Argentina. (2022). Informe sectorial anual 2022. <https://www.aifbn.org.ar/wp-content/uploads/Informe-Sectorial-Anual-2022-web.pdf>

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2021). Estimaciones Agrícolas - Cultivos anuales, perennes y forestales. <https://datos.inta.gob.ar/dataset/estimaciones-agricolas>

Dirección de Producción Foresto Industrial de Misiones. (2021). Estadísticas forestales. <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/>