

Caracterización experimental de las propiedades mecánicas de la madera contralaminada (CLT) heterogénea.

Juan Guillermo González Espinoza, Fabián Rojas, Mario Wagner

Universidad de Chile

Introducción

En la actualidad, la industria de la construcción se ve desafiada por una problemática a nivel global, disminuir las emisiones de CO2 (Labaran et al., 2021). Ante este desafío la madera surge como una alternativa capaz de crear valor para solucionar esta problemática generando disminuciones en las emisiones respecto a otros materiales utilizados en el diseño y construcción. Dentro de este contexto el rubro maderero ha desarrollado soluciones ingenieriles que tienen como objetivo mejorar las propiedades mecánicas de este material, siendo la madera contralaminada (CLT) una alternativa en auge para el diseño y construcción de estructuras (Bahrami & Rashid, 2024).

Este proyecto busca obtener las propiedades mecánicas de 2 productos de madera contralaminada de la empresa HILAM ARAUCO. Esta información es de relevancia para mejorar los procesos de diseño y construcción con CLT en Chile.

Metodología

Se caracterizaron 2 productos de CLT: CLT de 3 y 5 capas.

- CLT de 3 capas de Pino Radiata Chileno de espesor 90 mm.

- CLT de 5 capas de Pino Radiata Chileno de espesor 150 mm.

- Para ambos casos las capas longitudinales son de madera de calidad C24 y las capas transversales de calidad C16.

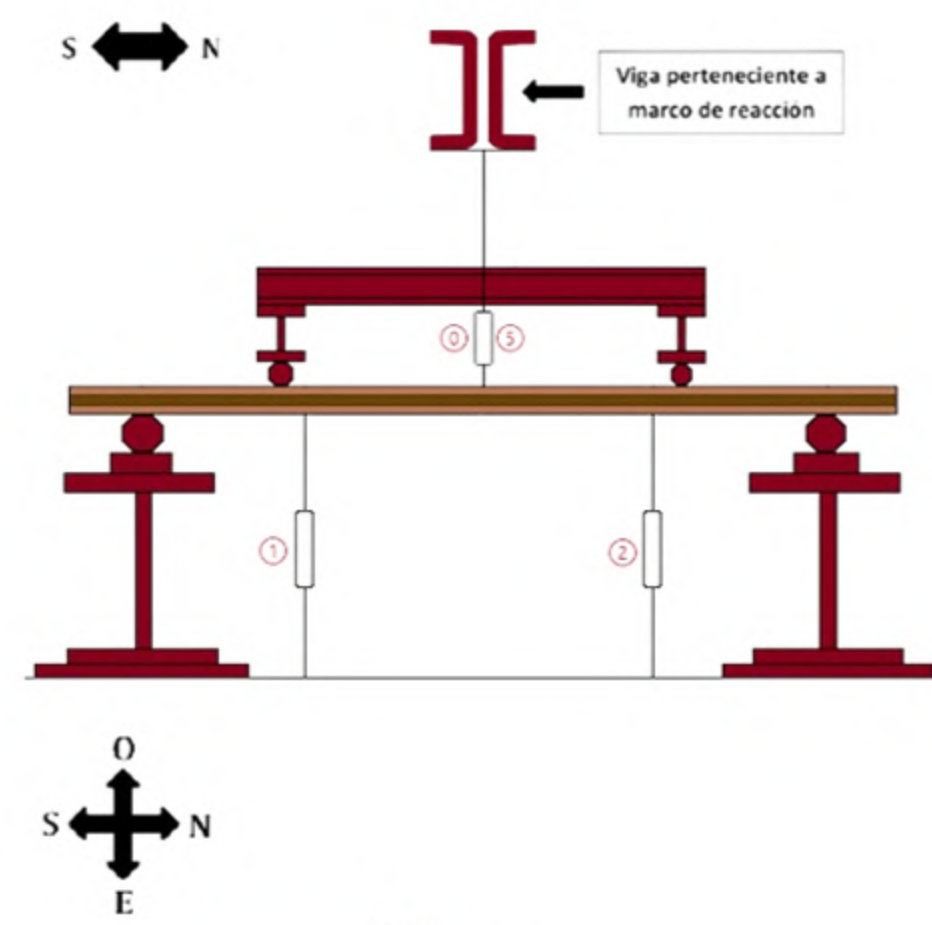


Figura 3 - Idealización del montaje experimental en elevación.

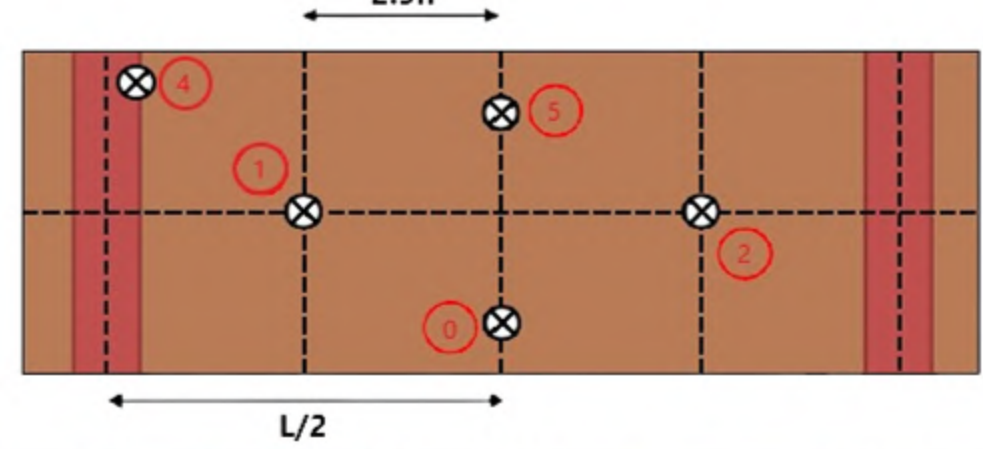


Figura 4 - Vista en planta de la probeta en el montaje experimental donde las x indican la posición de los LVDT utilizados.



Figura 5 - Montaje experimental previo a un ensayo.

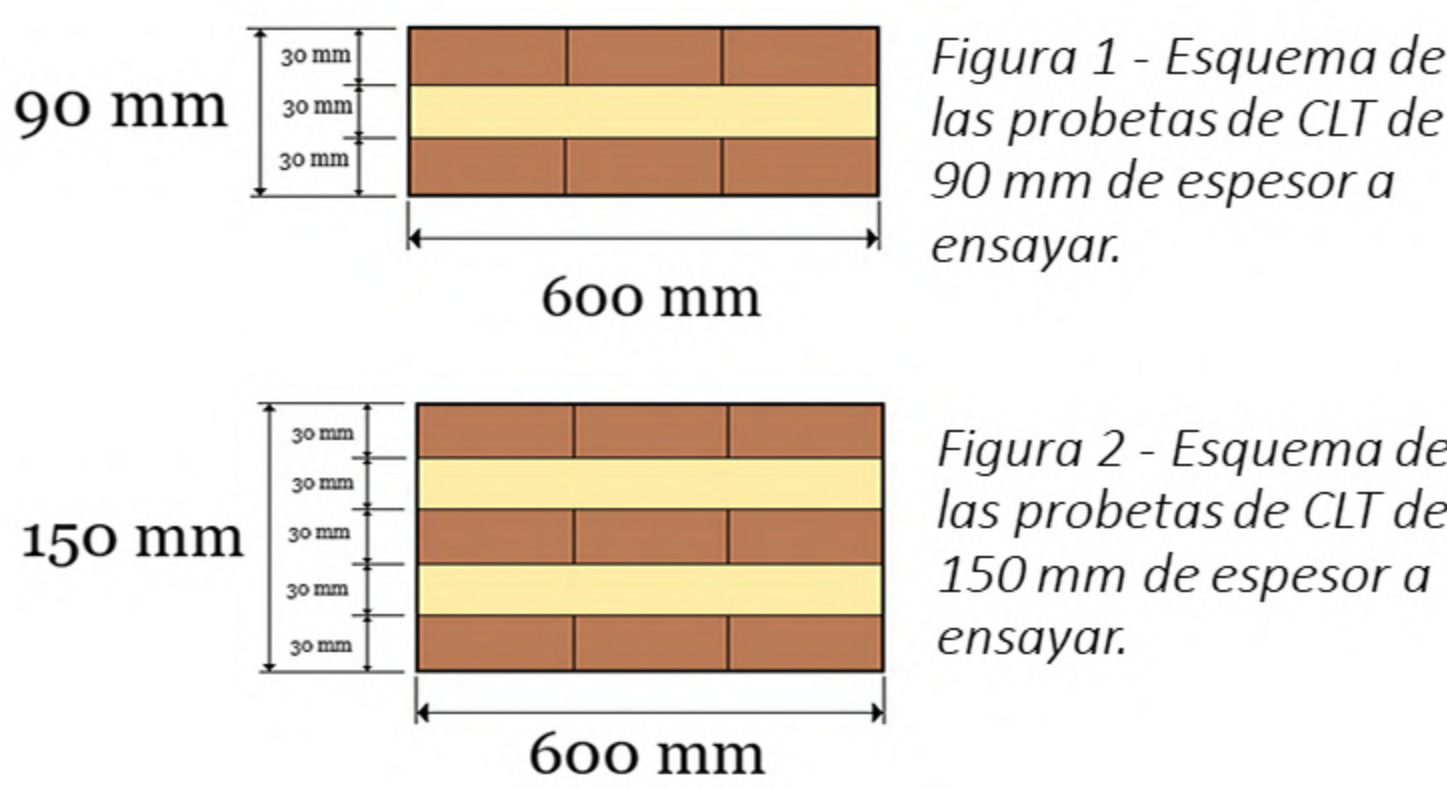


Figura 1 - Esquema de las probetas de CLT de 90 mm de espesor a ensayar.

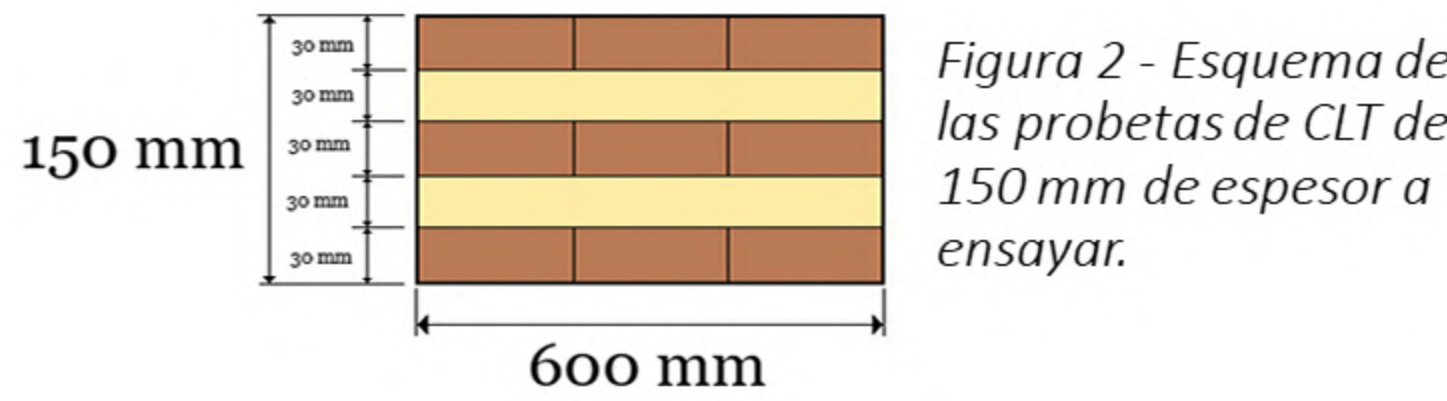


Figura 2 - Esquema de las probetas de CLT de 150 mm de espesor a ensayar.

Ensayos realizados:

- Caracterización del material a flexión y corte por medio del ensayo de flexión a 4 puntos.

- Sistema estructural simplemente apoyado con un elemento tipo viga/losa cargado en dos puntos a igual distancia de los apoyos del sistema.

- Sector entre el apoyo y el punto de aplicación de la carga con corte constante

- Sector entre los puntos de aplicación de la carga con momento constante.

Montaje experimental:

- Realizado con un sistema estructural consiste en un marco de reacción con dos apoyos

- Carga generada por un pistón, registrada por una celda de carga y transmitida a la probeta por una viga de transferencia con dos secciones circulares.

- La deformación experimentada se registró por medio de un sistema de 5 sensores LVDT (Linear variable differential transformer).

- Los sensores utilizados se alojan en la parte superior e inferior del montaje experimental.

Resultados – Curvas fuerza v/s deformación global

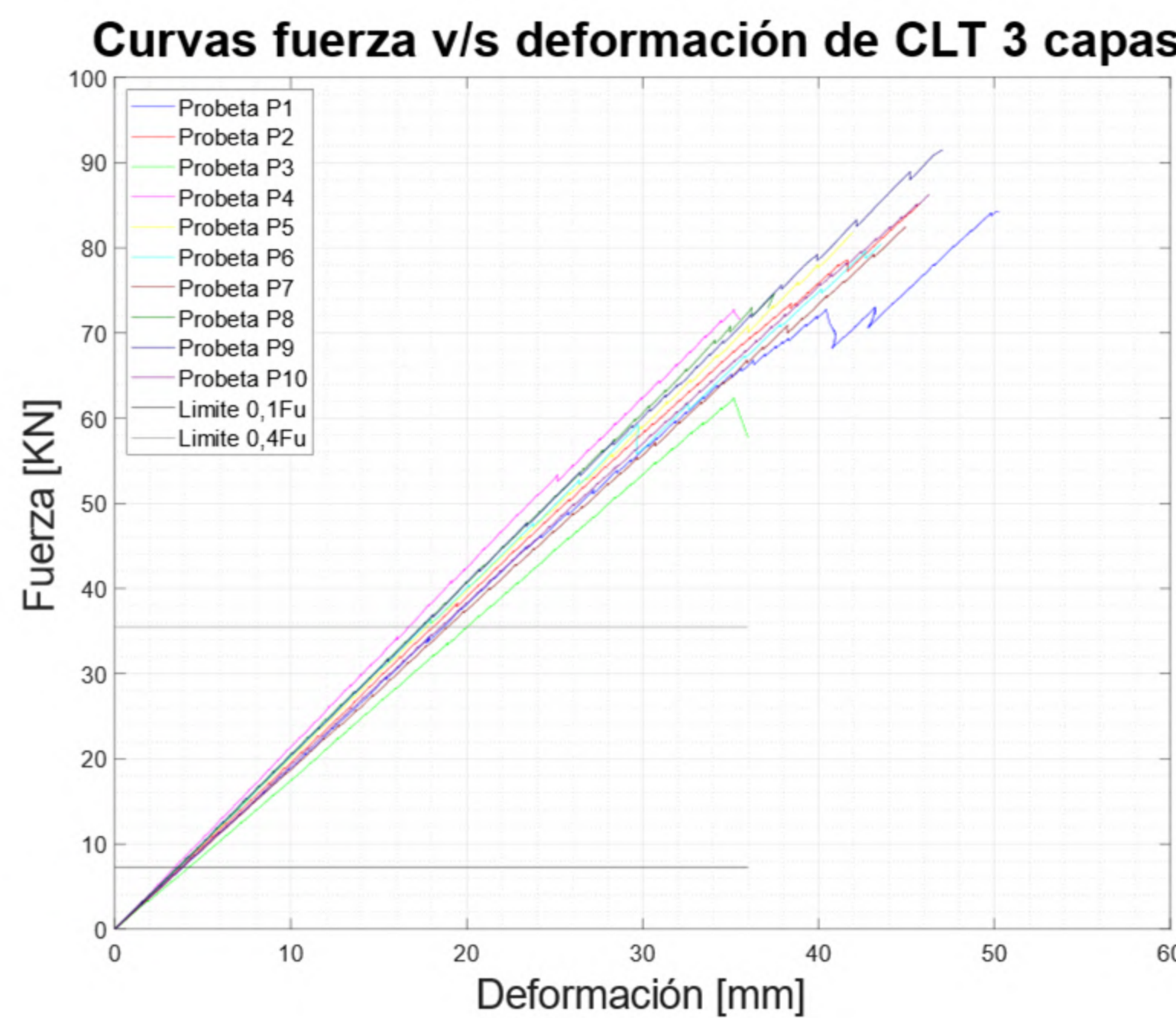


Figura 6 - Gráfico fuerza v/s deformación global para las probetas de flexión en CLT de 3 capas, los límites indicados son los utilizados para calcular el módulo de resistencia a flexión.

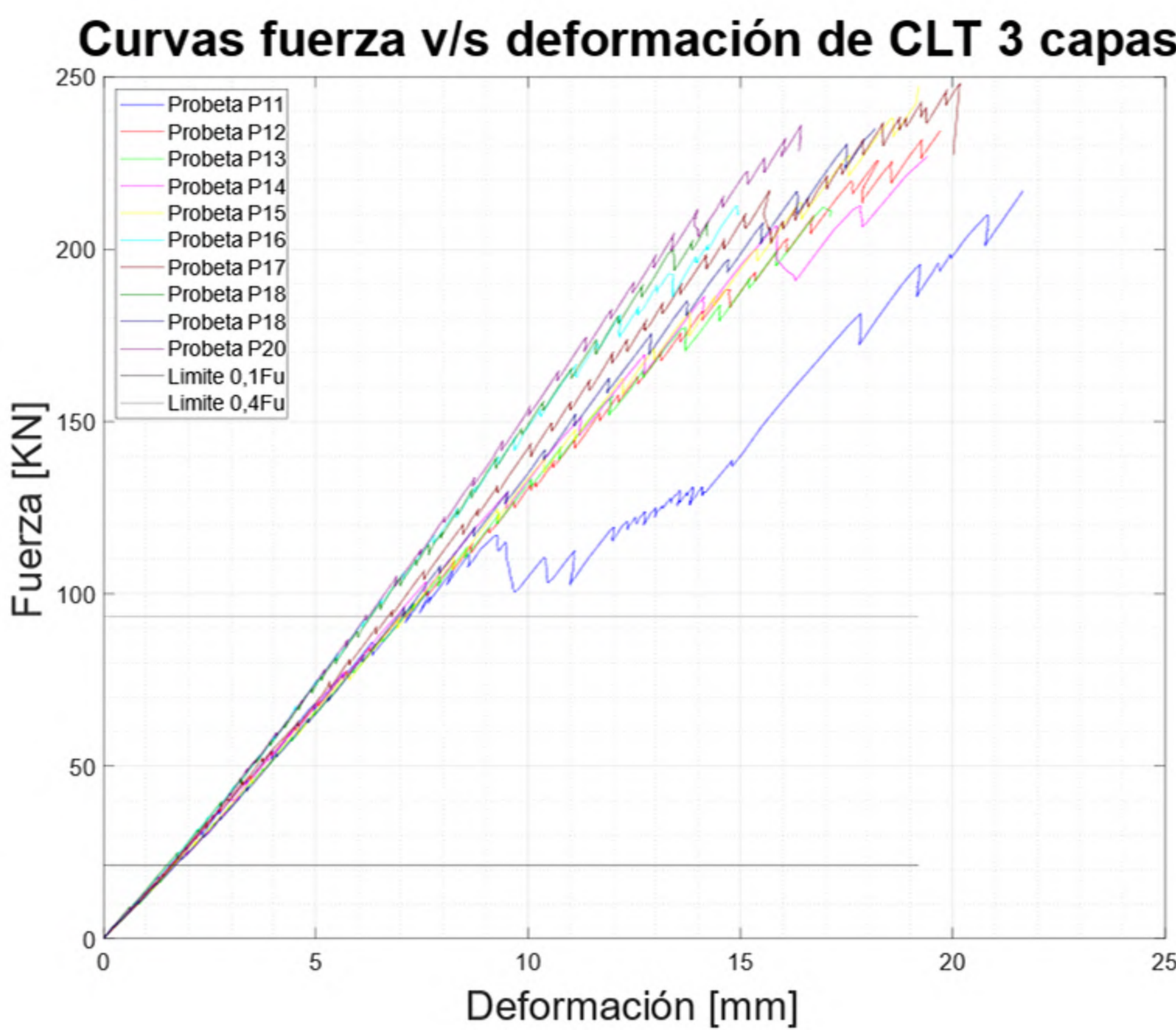


Figura 7 - Gráfico fuerza v/s deformación global para las probetas de corte en CLT de 3 capas. los límites indicados son los utilizados para calcular el módulo de resistencia a cizalle.

Ensayos flexión CLT 3 capas:

- 10 ensayos a flexión de CLT de 3 capas.
- Comportamiento mecánico similar entre las distintas probetas.
- El material presentó un comportamiento elástico lineal.
- Las probetas mostraron un comportamiento frágil a la rotura.

Ensayos corte CLT 3 capas:

- 10 ensayos a corte de CLT de 3 capas.
- Comportamiento mecánico similar entre las distintas probetas en el inicio de la curva.
- El material presentó un comportamiento elástico lineal.
- Las probetas mostraron un comportamiento frágil a la rotura.

Ensayos flexión CLT 5 capas:

- 10 ensayos a flexión de CLT de 5 capas.
- Comportamiento mecánico similar entre las distintas probetas.
- El material presentó un comportamiento elástico lineal.
- Las probetas mostraron un comportamiento frágil a la rotura.

Resultados – Modos de falla y resistencia característica



Figura 8 – Vista de la cara inferior de una falla a flexotensión en CLT de 3 capas.



Figura 9 – Vista lateral de falla a flexotensión en CLT de 3 capas.



Figura 10 – Vista lateral de falla a flexotensión en CLT de 5 capas.



Figura 11 – Vista de la cara inferior de la falla a flexotensión en CLT 5 capas.



Figura 12 - Vista lateral de falla a cizalle rodante en CLT de 3 capas.



Figura 13 – Vista de la cara inferior de la falla a cizalle rodante en CLT 3 capas.

Modos de falla a flexión para CLT de 3 y 5 capas

- Se observan fallas de flexo-tracción.
- Presentes en el material y en las zonas de debilidad como nudos y finger joints.
- Se generan en la zona de momento máximo o sector central de la probeta.
- Evidenciadas por otros autores, en CLT heterogéneo (Li et al., 2020) y en CLT homogéneo (Navaratnam et al., 2020).

Modos de falla a corte de CLT 3 capas

- Se observan fallas de cizalle rodante en la capa transversal crítica.
- Se generan en el sector de cortante máximo o el primer tercio de la probeta.
- Han sido reportadas por autores en otros CLT (Hematabadi et al., 2020).

Conclusiones

- Los CLT de 3 y 5 capas presentan principalmente durante los ensayos un comportamiento mecánico elástico lineal hasta la rotura del material, la cual tiene un comportamiento frágil a flexión y/o corte.
- En algunos elementos ensayados, se observó que la falla se iniciaba en los finger joints que se encontraban alineados en las zonas de ruptura, en base a esto se propone evitar esta situación en la fabricación de CLT.
- Las componentes estructurales de CLT son una buena alternativa para el diseño de losas, debido a sus propiedades mecánicas, además permiten la disminución de los tiempos de construcción y las emisiones de CO₂ respecto a otros materiales como acero y hormigón.
- Los ensayos en componentes de CLT contribuyen a disminuir la incertidumbre en la estimación analítica de las propiedades mecánicas utilizadas en el diseño estructural de elementos de CLT fabricados con Pino Radiata Chileno.

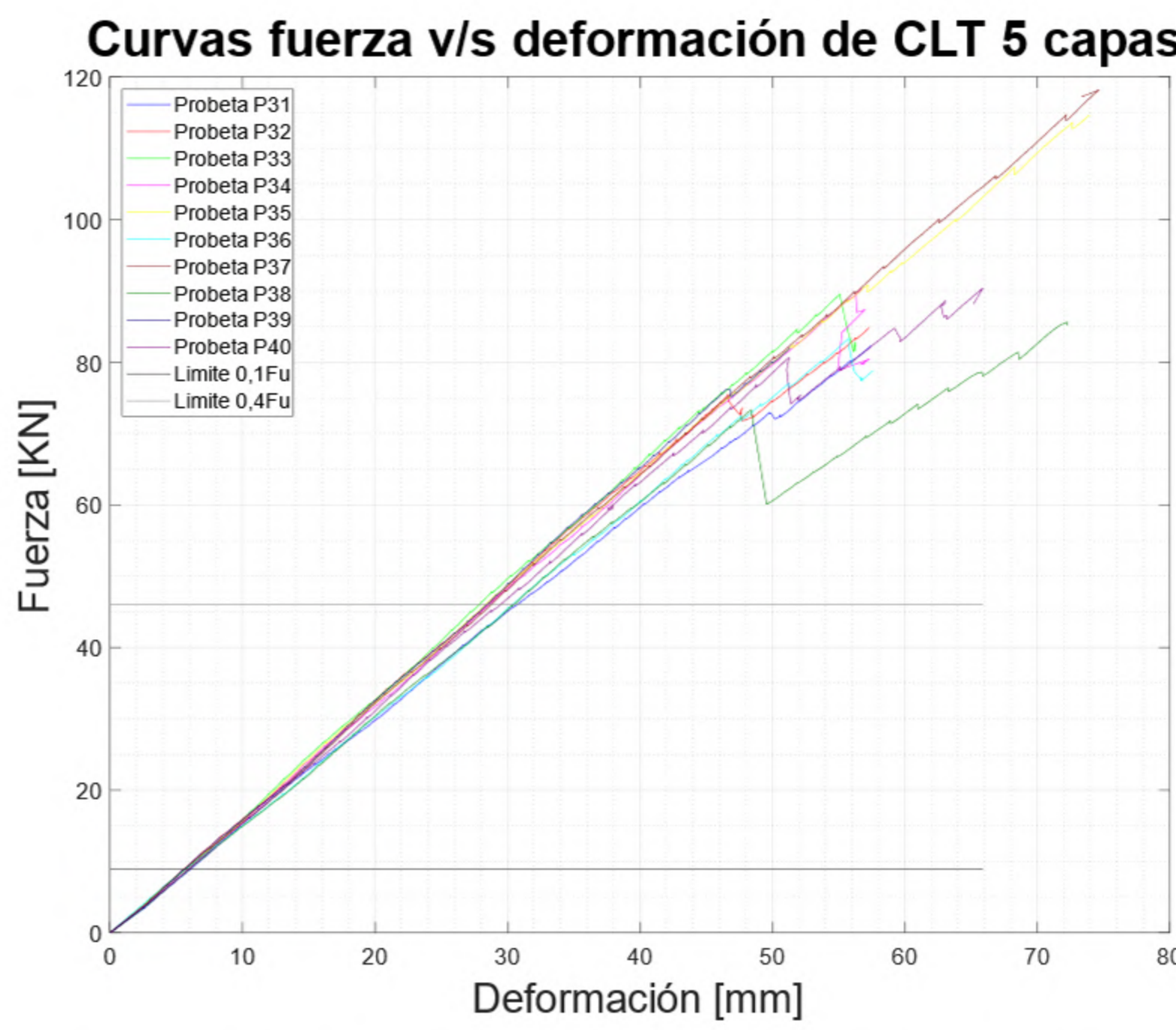


Figura 8 - Gráfico fuerza v/s deformación global para las probetas del ensayo a flexión en CLT de 5 capas. los límites indicados son los utilizados para calcular el módulo de resistencia a flexión.

Población	Vu [kN]	Mu [kNm]	MR _c o R _{ciz} [MPa]	EI [kNmm ²]	E [MPa]	GA [kN]
Flexión - CLT 3 capas	32,32	26,21	33,57	3,45 · 10 ⁸	9829	-
Corte - CLT 3 capas	99,66	26,90	2,57	-	-	5676,17
Flexión - CLT 5 capas	33,49	45,20	25,37	1,39 · 10 ⁹	10432	-

Tabla 1 – Resistencia característica con un nivel de confianza del 75% con una distribución normal.

Resistencia característica:

- Tensión de flexión mayor a los materiales constituyentes (C24 y C16) del CLT 3 capas y 5 capas.
- Tensión de cizalle mayor a los materiales constituyentes (C24 y C16) del CLT 3 capas.
- Módulo de elasticidad menor que el constituyente longitudinal (C24)

Bibliografía

- Bahrami, A., & Rashid, S. M. P. (2024). Sustainable Development of Recent High-Rise Timber Buildings. Sustainable Structures and Buildings.
- Hematabadi, H., Madhoushi, M., Khazaeyan, A., Ebrahimi, G., Hindman, D., & Loterski, J. (2020). Bending and shear properties of cross-laminated timber panels made of poplar (Populus alba). Construction and Building Materials, 265.
- Labaran, Y. H., Mathur, V. S., & Farouq, M. M. (2021). The carbon footprint of construction industry: A review of direct and indirect emission. Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies.
- Li, X., Ashraf, M., Subhani, M., Kremer, P., Kafle, B., & Ghabraie, K. (2020). Experimental and numerical study on bending properties of heterogeneous lamella layouts in cross laminated timber using Australian Radiata Pine. Construction and Building Materials, 247.
- Navaratnam, S., Christopher, P. B., Ngo, T., & Le, T. V. (2020). Bending and shear performance of Australian Radiata pine cross-laminated timber. Construction and Building Materials, 232.