



## DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL MÓDULO DE CORTE EN SU PLANO Y LA TENSIÓN DE CORTE DE ROTURA DE PANELES DE CLT

### EXPERIMENTAL DETERMINATION OF SHEAR MODULUS AND THE RUPTURE SHEAR STRESS IN CLT PANELS

Pablo Romero <sup>1</sup>, Alonso Rossi <sup>1</sup>, Erick Saavedra <sup>2</sup>, Paulina González<sup>3\*</sup>, Eduardo Pérez <sup>4</sup>,  
Camila Burgos <sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.

<sup>2</sup>Profesor Asociado. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.

<sup>3</sup>Profesora Asociada. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.

<sup>4</sup>Profesor Adjunto. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.

<sup>5</sup>Profesora Asistente. Universidad de Santiago de Chile. Santiago, Chile.

CÓDIGO: 4620099

#### Resumen

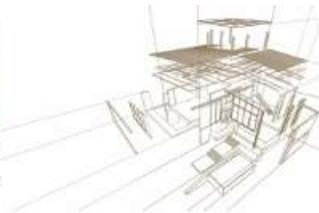
En este trabajo se presentan los resultados de ensayos realizados en elementos estructurales de madera contralaminada (CLT) con el objetivo de determinar el módulo de corte en su plano y la tensión de corte de rotura de paneles de CLT tipo muro. Se consideran tres tamaños de probetas de CLT de pino radiata de tres capas para incluir tres valores del cociente entre la altura y la longitud del panel ( $h/b$ : 1/1, 7/6, 3/2). Los ensayos se efectúan empleando las disposiciones de la norma chilena NCh802 EOf. 71 y los resultados se utilizan para obtener la curva que relaciona la tensión de corte en la sección transversal del panel con la desangulación en el plano del panel. La pendiente de esta curva, en el rango elástico de deformación de la probeta, corresponde al módulo de corte del elemento de CLT. Con estos resultados, se propone una función de tipo exponencial decreciente para representar la dependencia del módulo de corte con la razón de aspecto ( $h/b$ ) del panel de CLT. Por otra parte, con la carga que produce la falla del panel se determina la tensión de corte de rotura, la cual es independiente de la razón de aspecto y tiene un valor de 4,0 Mpa.

*Palabras-clave: módulo de corte, madera contralaminada, ensayos en muros de CLT.*

#### Abstract

In this work results of tests done in cross laminated timber (CLT) structural elements are shown, with the objective to determine shear modulus in its plane and the rupture stress in type wall CLT panels. Three sizes test samples of radiata pine CLT of three layers are considered to include three values of quotient between panel's height and length ( $h/b$ : 1/1, 6/7, 2/3). Tests are done using regulations of Chilean code NCh802 EOf. 71 and results are used to get the curve which relates shear stress with the shear strain in the panel's plane. The slope of this curve, in the elastic rank of deformation of the test sample, corresponds to the shear modulus of CLT element. With these results, a decreasing, exponential function is proposed to represent dependence of shear modulus with the aspect reason ( $h/b$ ) of the CLT panel. On the other hand, force which produces panel's failure is used to determine the shear stress of breaking, which is independent of the aspect reason and has a value of 4,0 MPa.

*Keywords: shear modulus, cross laminated timber, experimental tests in CLT panel.*



## 1. INTRODUCCIÓN

El empleo de madera contralaminada (CLT o XLAM) ha adquirido gran relevancia a nivel mundial en los últimos veinte años, particularmente en edificios de mediana altura, dado que este sistema constructivo posee grandes ventajas respecto de sistemas tradicionales en los aspectos referidos fundamentalmente a sostenibilidad, costos, confortabilidad, durabilidad, rapidez de ejecución, resistencia mecánica, comportamiento sísmico, entre otras cualidades (Brandner et al 2016; González et al 2014 y 2019). Considerando que Chile posee abundante recurso forestal (CONAF 2018) y un déficit habitacional del orden de 700 mil viviendas (CChC 2019), se hace necesaria la introducción del CLT como alternativa de construcción sustentable para edificaciones de mediana altura. Para ello, se requiere caracterizar los elementos estructurales de CLT elaborados con madera proveniente de recursos forestales chilenos con el fin de generar los antecedentes y estándares técnicos necesarios para facilitar el uso de este sistema constructivo en la comunidad profesional.

## 2. ENSAYOS ANTE SOLICITACIÓN DE CORTE

### 2.1. Preparación de probetas

Los ensayos de corte en el plano se realizan en probetas de paneles tipo muro de CLT de tres capas empleando la norma chilena NCh 802 (INN 1971). Se consideran probetas de tres tamaños que definen tres valores de la razón de aspecto del panel, la cual corresponde a la proporción entre la altura (h) del elemento y su ancho (b). Este parámetro tiene una alta influencia en el comportamiento al esfuerzo de corte de paneles tipo muro de CLT (Popovski 2016; FPIinnovations 2011).

Las nueve probetas que se someten a ensayo, tres para cada razón de aspecto considerada en el estudio, se obtienen a partir de paneles de madera contralaminada de tres capas, los cuales han sido fabricados en el Laboratorio LIMUS según el procedimiento que se describe en detalle en trabajos previos (González et al 2014 y 2019). En la Figura 1 se ha incluido la secuencia del proceso de preparación de las probetas y en la Tabla 1 se muestran las dimensiones, las razones de aspecto y la cantidad de repeticiones para cada configuración de probeta.

### 2.2. Montaje y procedimiento de ensayo

El montaje típico del ensayo de corte en el plano de las probetas de paneles tipo muro se muestra en la Figura 2. El protocolo de ensayo de la norma NCh802 (INN 1971) establece que se debe aplicar una carga lateral, progresivamente creciente, en el nivel superior del espécimen. Con el objeto de restringir el desplazamiento vertical se utiliza una viga de acero sobre la probeta, como se aprecia en la Figura 2, sistema que resulta ser más adecuado que el empleo de tensores de acero que propone la normativa para estos fines. En esta Figura 2 se muestra un detalle de la ubicación del dispositivo empleado para registrar la deformación instantánea horizontal en el nivel superior del espécimen, asociada a los distintos niveles de carga, con la finalidad de obtener la curva carga-deformación del panel. También se ubica un dispositivo en el nivel basal de la probeta con el objeto de medir eventuales levantamientos y efectuar las correcciones necesarias para obtener la deformación debida al esfuerzo de corte puro del espécimen. El montaje del ensayo contempla elementos para impedir el desplazamiento horizontal de la probeta y que, al mismo tiempo, permitan el giro en el extremo inferior opuesto al punto de aplicación de la carga.

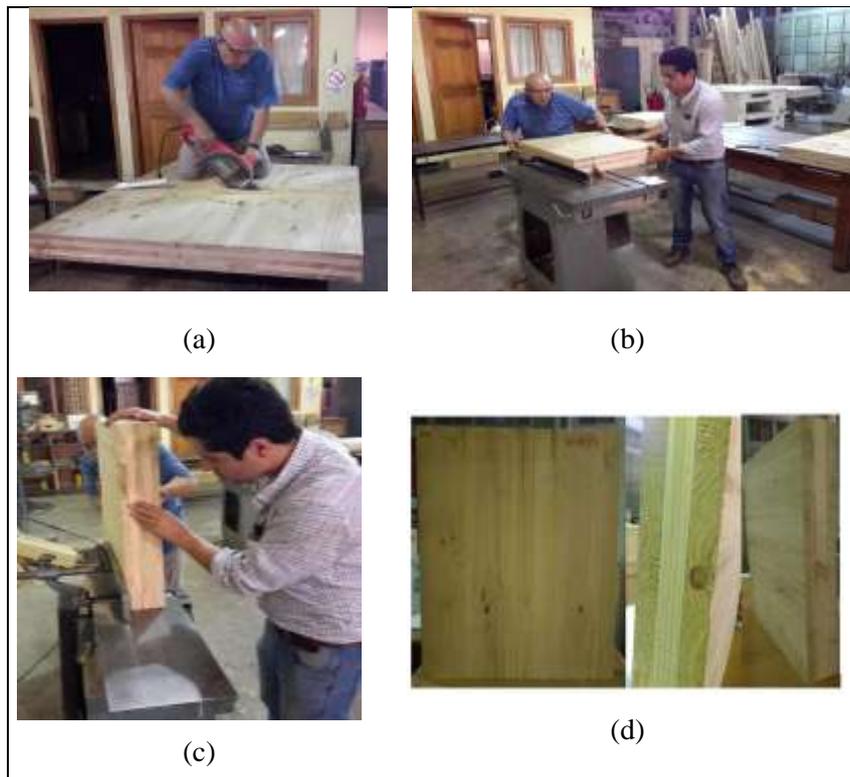
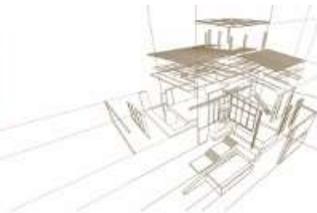
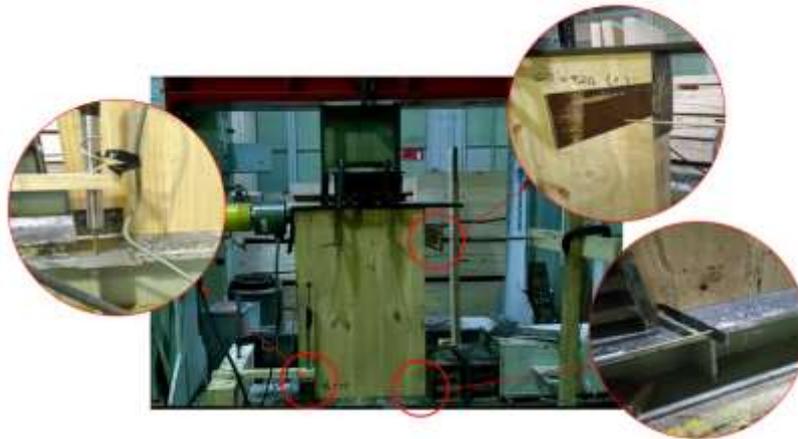
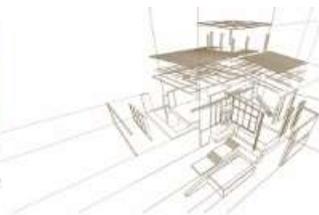


Figura 1: Secuencia del proceso de preparación de probetas. (a) corte de panel de CLT con motosierra, (b) corte de panel de CLT con sierra de mesa, (c) cepillado de cara lateral en canteadora, (d) probeta para ensayo. (Salas y Aravena 2017, Romero y Rossi 2016).

Tabla 1: Configuración de probetas y cantidad de repeticiones de ensayos. (Romero y Rossi 2016)

Serie	Altura (m)	Ancho (m)	Razón de aspecto	Nº repeticiones
P60x60	0,6	0,6	1:1	3
P60x70	0,7	0,6	7:6	3
P60x90	0,9	0,6	3:2	3



*Figura 2: Montaje típico de probeta de CLT tipo muro para ensayo de corte en el plano.  
(Romero y Rossi 2016)*

### 2.3. Resultados de ensayos

En la Figura 3 se muestra la curva tensión de corte-deformación angular típica de las probetas ensayadas, a partir de la cual se determina el módulo de corte respectivo que corresponde a la pendiente de la tangente en la zona elástica de la curva. El límite superior de la zona elástica de la curva o punto de fluencia de cada espécimen se determina aplicando el procedimiento descrito en la norma DIN EN 12512 (2006). La zona inicial de la curva, en la cual se producen deformaciones significativas con bajos niveles de carga, se asocia al movimiento inicial entre las piezas que conforman el montaje del ensayo por reducción de los pequeños espacios libres que existen entre ellas, por lo tanto esta zona de la curva no se incluye en el procedimiento utilizado para determinar el módulo de corte de cada probeta.



*Figura 3: Curva tipo de tensión de corte – deformación angular de probetas.  
(Romero y Rossi 2016)*

La Figura 4 corresponde a un gráfico que muestra en forma esquemática el procedimiento que prescribe la norma DIN, ya mencionada, para determinar el punto de fluencia ( $P_y$ ) de la curva carga-deformación.

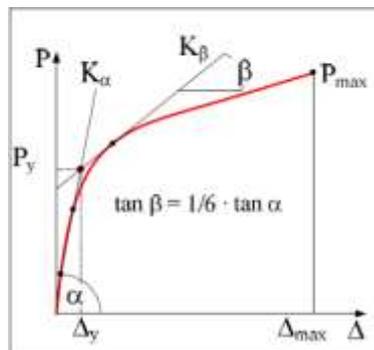
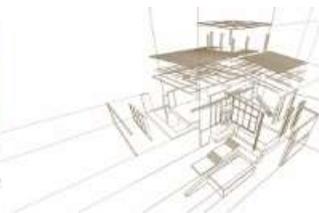


Figura 4: Punto de fluencia según norma DIN EN 12512 (2006)  
Muñoz et al (2008)

La Tabla 2 contiene los valores promedio de los módulos de corte de las tres configuraciones de probetas ensayadas y los estadígrafos correspondientes.

Tabla 2: Módulo de corte de probetas de CLT tipo muro. (Romero y Rossi 2016)

Estadígrafos	Razón de aspecto		
	1:1	7:6	3:2
Promedio (MPa)	598,9	380,7	248,8
Desviación Estándar (MPa)	67,9	124,5	46,3
Coefficiente de variación (%)	11,3	32,7	18,6

Los resultados de la Tabla 2 se muestran en el gráfico de la Figura 5, donde también se muestra una curva de ajuste con su respectiva expresión matemática, la cual también se presenta en la ecuación (1). Esta ecuación permite relacionar el módulo de corte con la razón de aspecto ( $h/b$ ) de paneles tipo muro de CLT de tres capas, elaborados con madera de pino radiata chileno.

En atención a que la ecuación (1) entrega valores consistentes con las relaciones clásicas de la mecánica de sólidos, se estima que es posible extrapolar la validez de esta relación a todo el rango práctico de valores de la razón de aspecto de paneles de CLT de tres capas.

$$G\left(\frac{h}{b}\right) = 570 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^{-2,12} \quad (1)$$

donde:

- G es el módulo de corte (MPa).
- h es la altura del panel.
- b es la longitud de la base del panel.

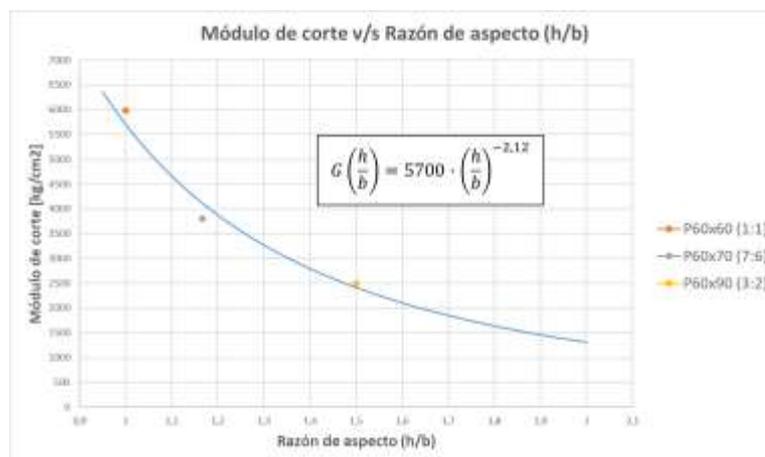
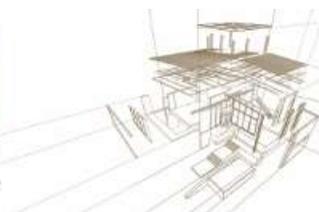


Figura 5: Módulo de corte en función de la razón de aspecto. (Romero y Rossi 2016)

La Tabla 3 contiene las tensiones de corte de rotura de las probetas; se incluyen los valores promedio y los estadígrafos respectivos. En el cálculo de estas tensiones se emplea el valor del área total de la sección transversal de cada espécimen.

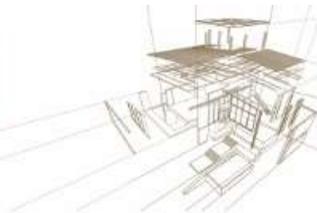
Tabla 3 Tensión de corte de rotura de probetas de CLT tipo muro. (Romero y Rossi 2016)

Estadígrafos	Razón de aspecto		
	1:1	7:6	3:2
Promedio (MPa)	4,6	4,1	4,3
Desviación Estándar (MPa)	0,1	0,5	0,2
Coefficiente de variación (%)	2,0	13,1	3,5

En los resultados de la Tabla 3 se observa que la tensión de corte de rotura de las probetas de CLT no presenta variaciones importantes para los distintos valores de la razón de aspecto.

### 3. CONCLUSIONES

En este trabajo se han realizado ensayos experimentales en probetas de paneles de madera contralaminada, tipo muro, para determinar el módulo de corte y la tensión de corte de rotura en su plano de estos elementos estructurales. Los resultados de los ensayos permiten deducir que el módulo de corte en su propio plano, de paneles de CLT tipo muro, depende en forma exponencial decreciente del cociente entre la altura del panel (h) y la longitud de la base del mismo (b), cociente que se ha denominado razón de aspecto del panel. Además, se obtiene como conclusión que la tensión de corte de rotura de estos elementos no presenta variaciones importantes para los distintos valores de la razón de aspecto considerados en el estudio, de tal manera que se propone un valor de 4,0 MPa para este parámetro, con un nivel de confianza del 95% según el test de Student.



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con el apoyo financiero de Innova CORFO a través del proyecto *15BPE-47270 Ingeniería sismorresistente para diseño estructural de edificios de mediana altura en madera contralaminada de pino radiata crecido en Chile.*

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G. and Thiel, A. (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*.

CChC (Cámara Chilena de la Construcción) (2019). [www.cchc.cl/inicio/comunicaciones/opinion](http://www.cchc.cl/inicio/comunicaciones/opinion). (fecha publicación 28/04/19). (acceso 08.08.2019)

CONAF (Corporación Nacional Forestal) (2018). [www.conaf.cl](http://www.conaf.cl). [www.sit.conaf.cl](http://www.sit.conaf.cl). (acceso 05.06.2019).

DIN EN12512 (2006). Timber structures-Test methods-Cyclic testing of joints made with mechanical fasteners.

FPInnovations (2011). CLT Handbook. Canadian Edition. Quebec. Canadá.

González, P., Saavedra, E., Pérez, E., Burgos, C., Piña, F. y Wagner, M. (2014). Sistema constructivo en madera contralaminada para edificios, ISBN: 978-956-303-267-3. Universidad de Santiago de Chile, [www.conmaderasach.cl](http://www.conmaderasach.cl).

González, P., Burgos, C., Pérez, E., Valdivieso, D., Saavedra, E., Yáñez, S. y Wagner, M. (2019). Sistema constructivo en madera contralaminada para edificios. Volumen 2, ISBN: 978-956-303-395-3. Universidad de Santiago de Chile, [www.conmaderasach.cl](http://www.conmaderasach.cl).

Instituto Nacional de Normalización (1971). Arquitectura y construcción - paneles prefabricados - ensayo de carga horizontal. NCh802.EOf71. Santiago. Chile.

Muñoz, W., Mohammad, M., Salenikovich, A. and Quenneville, P. (2008). Determination of yield point and ductility of timber assemblies. *Proceedings of World Conference on Timber Engineering, WCTE 2008, Miyazaki, Japan*.

Popovski, M. (2016). Conversación personal.

Romero, P. y Rossi, A. (2016). Determinación del módulo de corte y la tensión de rotura de paneles de CLT, fabricados de pino radiata chileno, al ser sometidos a cargas en el plano. Memoria de título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad de Santiago de Chile.

Salas, C. y Aravena, F. (2017). Determinación experimental de la compresión paralela en columnas cortas de CLT. Memoria de título de Constructor Civil. Universidad de Santiago de Chile.