



## **ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA INCIDENCIA DE LA ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS EN LA RESISTENCIA AL CIZALLE A TRAVÉS DEL ADHESIVO EN PROBETAS DE CLT**

PÉREZ, EDUARDO; GONZALEZ, PAULINA; BURGOS, CAMILA; ACUÑA, PATRICIO; COFRÉ, EDUARDO  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE, CHILE

CÓDIGO: 4620078

### **Resumen**

La fabricación de CLT en Chile ya es una realidad, con ello se empiezan a construir las primeras estructuras con este material, sin embargo no hay una normativa vigente que regule y controle su proceso de producción. La norma chilena NCh 2148 especifica los requisitos mínimos para la fabricación de madera laminada encolada, cuya orientación de las fibras es paralela en las líneas de encolado, en cambio en la madera contralaminada o CLT las fibras están dispuestas de manera perpendicular en las líneas de encolado.

En este trabajo se muestran los resultados de ensayos realizados a distintas probetas fabricadas de acuerdo con lo estipulado en la norma NCh 2148, pero con distintas orientaciones de las fibras en las líneas de encolado para determinar valores de resistencia al cizalle paralelo, perpendicular y mixto.

Se concluye que la orientación de la fibra incide en la resistencia al cizalle a través del adhesivo, disminuyendo en un 60% entre cizalle paralelo y cizalle mixto. Por esta razón, la norma chilena NCh 2148 no sería aplicable para la madera contralaminada, debido a que los valores de resistencia al cizalle a través del adhesivo son distintos al tener distinta orientación de las fibras.

Palabras-clave: cizalle a través del adhesivo, madera contralaminada, pino radiata.

### **Abstract**

The manufacture of CLT in Chile is already a reality, with this the first structures with this material begin to be built, however there is no current regulation that regulates and controls the production process. The NCh 2148 Chilean standard specifies the minimum requirements for the manufacture of glulam, whose orientation of the fibers is parallel in the gluing lines, whereas the cross-laminated timber or CLT is arranged perpendicularly to the fibers in the gluing lines.

This paper shows the results of tests carried out on different specimens manufactured according to the stipulations of NCh 2148, building them particularly with different orientations of the fibers to determine shear strength values through the adhesive of parallel, normal and mixed orientation of the fibers.

It is concluded that the orientation of the fiber has influence in the resistance to the shear through the adhesive, decreasing by 60% between parallel shear and mixed shear. For this same reason, the NCh 2148 standard would not be applicable to cross-laminated timber, because the shear strength values through the adhesive are different when having different orientation of the fibers.

Keywords: shear through the adhesive, cross laminated timber, radiata pine.



## 1. INTRODUCCIÓN

El ensayo del cizalle a través del adhesivo permite evaluar la resistencia del encolado de las piezas. En la norma chilena NCh 2148 (INN 2013) se indica un valor de resistencia para la madera laminada encolada que está conformada por piezas de madera unidas mediante líneas de cola paralela a sus fibras, lo que no ocurre en el CLT, ya que las capas de madera se unen con sus fibras en sentido perpendicular respecto de las capas adyacentes (González et al 2014 y 2019). En atención a ello, en este estudio se analiza la incidencia de la orientación de la fibra en la resistencia al cizalle a través del adhesivo.

## 2. ENSAYOS CIZALLE A TRAVÉS DEL ADHESIVO.

### 2.1. Preparación de probetas

Se utilizaron piezas de pino radiata de 41x138mm por 4 metros de largo. En primera instancia se clasificaron visualmente, prestando atención en defectos tales como nudos, alabeos, agujeros. El segundo parámetro utilizado para la selección de las piezas correspondió al espesor de los anillos, ya que esta característica permite estimar en forma aproximada el valor de la densidad de la pieza, mayor o menor a 500 Kg/m<sup>3</sup>. Las piezas seleccionadas se cortaron longitudinalmente por el canto y por la cara, se eliminaron los nudos, y posteriormente se cepillaron por la cara y por los cantos, para obtener piezas de 19 mm de espesor por 130 mm de ancho. A continuación se identificaron las piezas mediante códigos numéricos y se determinó el contenido de humedad y la densidad de cada una, utilizando los procedimientos descritos en las normas chilenas NCh 176/1 (INN 1986) y NCh 176/2 (año?), respectivamente?. Con estos antecedentes se materializaron dos grupos, uno con las piezas de madera cuya densidad es mayor que 500 kg/m<sup>3</sup>, y el otro con las piezas de madera que tienen densidad de referencia inferior a 500 kg/m<sup>3</sup>. Luego, se conformaron parejas de piezas de madera con densidad de valores similares para elaborar bloques, a partir de los cuales se prepararon las probetas para realizar los ensayos. Con cuantas repeticiones se trabajó en cada caso?

Los bloques se confeccionaron mediante un proceso de encolado de las piezas de madera, considerando dos direcciones de orientación de las fibras de las piezas que se unen: paralela y perpendicular. Las probetas con unión paralela a la fibra se sometieron a ensayo de cizalle paralelo a la fibra y cizalle perpendicular a la fibra. El ensayo de las probetas con unión perpendicular y paralela? se ha denominado cizalle mixto. En la Figura 1 se muestran las probetas con las distintas orientaciones de las fibras y la dirección de la carga de cizalle: paralelo, perpendicular y mixto.

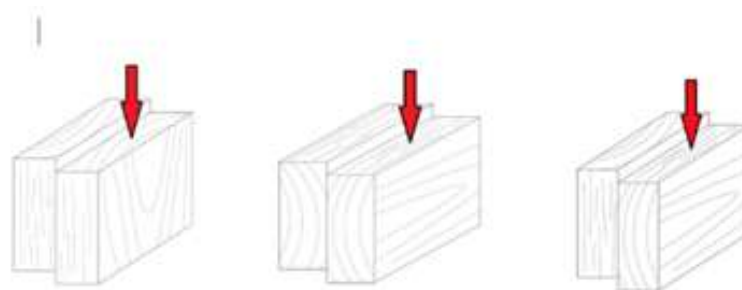
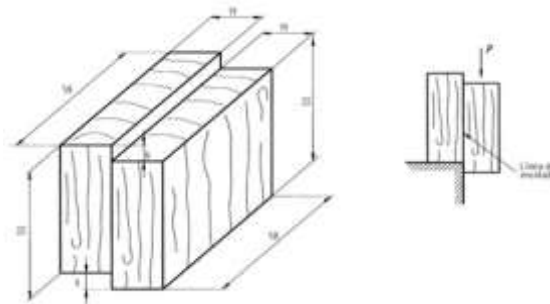


Figura 1: Probetas para ensayos de cizalle paralelo, perpendicular y mixto. (Acuña y Cofré 2018).



## Montaje y procedimiento de ensayo

La norma chilena NCh 2148 (INN 2013) indica que el ensayo para determinar la resistencia de las líneas de encolado se debe hacer según la norma ISO 12579 (2007). Esta norma ISO especifica un método de prueba del control de calidad de producción a través de la medición de la resistencia al cizalle de las líneas de encolado de la madera laminada encolada. El procedimiento de este ensayo consiste en aplicar una fuerza de cizalle en las líneas de encolado de valor creciente hasta que se produzca una falla, se registra el valor de la carga ejercida al momento de la falla y se evalúa el porcentaje de falla de la madera, que corresponde al área de las paredes de la unión que permanece con madera adherida después de realizado el ensayo. Las dimensiones de la probeta para efectuar el ensayo se muestran en la Figura 2 (INN 2013).



*Figura 2: Probeta para ensayo de cizalle a través del adhesivo según NCh 2148 (INN 2013).*

El montaje de la probeta de ensayo se muestra en la Figura 3; se emplea un equipo calibrado para aplicar una fuerza de compresión sobre una de las piezas de madera que conforman la probeta de tal manera de generar tensiones de cizalle en la zona encolada y así determinar la resistencia de la línea de encolado ante esta sollicitación.



*Figura 3: Montaje para ensayo de cizalle a través del adhesivo. (Acuña y Cofré 2018).*



### 2.3. Resultados de ensayos

En las Tablas 1 a 4 se exponen los resultados obtenidos para las diferentes orientaciones de las fibras. Las Tablas 1 y 2 contienen los valores de resistencia al cizalle a través del adhesivo y de porcentaje de falla de madera de los grupos de ensayo con densidad menor y mayor a 500 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente, para todas las direcciones de orientación de las fibras consideradas en el estudio, paralela, perpendicular y mixta.

*Tabla 1. Resultados de ensayos en probetas con densidad menor a 500 Kg/m<sup>3</sup>.  
(Acuña y Cofré 2018).*

<b>Paralelo</b>	<b>Resistencia al cizalle</b>	<b>% Falla madera</b>
N° de piezas (un)	40	40
Promedio (MPa)	9,7	65
Desviación estándar (MPa)	1,7	33,8
Coefficiente de variación (%)	17,1	52,4
Valor mínimo (MPa)	5	5
Valor máximo (MPa)	12	100
<b>Perpendicular</b>	<b>Resistencia al cizalle</b>	<b>% Falla madera</b>
N° de piezas (un)	40	40
Promedio (MPa)	4,0	91
Desviación estándar (MPa)	0,3	25,1
Coefficiente de variación (%)	8,3	27,6
Valor mínimo (MPa)	3	0
Valor máximo (MPa)	5	100
<b>Mixto</b>	<b>Resistencia al cizalle</b>	<b>% Falla madera</b>
N° de piezas (un)	40	40
Promedio (MPa)	3,7	67
Desviación estándar (MPa)	0,4	32,8
Coefficiente de variación (%)	10,2	49,2
Valor mínimo (MPa)	3	0
Valor máximo (MPa)	4	100



Tabla 2. Resultados de ensayos en probetas con densidad mayor a 500 kg/m<sup>3</sup>.  
(Acuña y Cofré 2018).

<b>Paralelo</b>	<b>Resistencia al cizalle</b>	<b>% Falla madera</b>
N° de piezas (un)	40	40
Promedio (MPa)	11,5	41
Desviación estándar (MPa)	1,5	29,4
Coeficiente de variación (%)	13,3	71,5
Valor mínimo (MPa)	8	5
Valor máximo (MPa)	15	100
<b>Normal</b>	<b>Resistencia al cizalle</b>	<b>% Falla madera</b>
N° de piezas (un)	40	40
Promedio (MPa)	5,1	100
Desviación estándar (MPa)	0,5	0,0
Coeficiente de variación (%)	10,7	0,0
Valor mínimo (MPa)	4	100
Valor máximo (MPa)	7	100
<b>Mixto</b>	<b>Resistencia al cizalle</b>	<b>% Falla madera</b>
N° de piezas (un)	40	40
Promedio (MPa)	5,0	64
Desviación estándar (MPa)	0,7	31,7
Coeficiente de variación (%)	14,0	49,8
Valor mínimo (MPa)	4	5
Valor máximo (MPa)	6	100

En las Tablas 3 y 4 se exponen los valores mínimos requeridos de resistencia al cizalle a través del adhesivo y de porcentaje mínimo de falla de madera, que resultan de aplicar los criterios de la norma NCh 2148 (INN 2013). Para efectos de comparación, se incluyen también los valores promedio obtenidos en el programa de ensayos efectuado en el presente trabajo.

Tabla 3. Comparación de resultados de ensayos con requisitos mínimos de la norma NCh 2148 en probetas con densidad menor a 500 kg/m<sup>3</sup>. (Acuña y Cofré 2018).

Tipo de cizalle	Promedio de resistencia al cizalle de ensayos	Promedio de resistencia al cizalle mínimo de NCh 2148	Promedio de porcentaje de falla de madera de ensayos	Porcentaje de falla de madera mínimo de NCh 2148
	MPa	MPa	(%)	(%)
Paralelo	9,7	4,0	65	57
Perpendicular	4,0	4,0	91	100
Mixto	3,7	4,0	67	100



Tabla 4. Comparación de resultados de ensayos con requisitos mínimos de la norma NCh 2148 en probetas con densidad mayor a 500 kg/m<sup>3</sup>. (Acuña y Cofré 2018).

Tipo de cizalle	Promedio de resistencia al cizalle de ensayos	Promedio de resistencia al cizalle mínimo de NCh 2148	Promedio de Porcentaje de falla de madera de ensayos	Porcentaje de falla de madera mínimo de NCh 2148
	MPa	MPa	(%)	(%)
Paralelo	11,5	6,0	41	40
Perpendicular	5,1	6,0	100	98
Mixto	5,0	6,0	64	99

Los resultados de las Tablas 3 y 4 muestran que se satisfacen los requisitos de la normativa chilena sólo en el caso de cizalle paralelo a las fibras para todo el rango de valores de densidad considerados en el estudio. Para este caso, los valores promedio de tensión de resistencia al cizalle determinados en los ensayos prácticamente duplican a los valores mínimos que exige la normativa vigente; en lo que se refiere al porcentaje de falla de madera, se encuentra que los valores promedio de los ensayos superan ligeramente los valores mínimos que establece la norma NCh 2148 (INN 2013). Se observa también que la densidad no tiene gran influencia en la resistencia al cizalle, siendo levemente superiores los valores de resistencia obtenidos en las probetas con densidad mayor a 500 kg/m<sup>3</sup>. Además, se aprecia que el factor que más influye en la resistencia al cizalle es la dirección de orientación de las fibras, encontrándose que el valor obtenido para el ensayo de cizalle mixto es aproximadamente 60% inferior al de resistencia al cizalle paralelo a la fibra, pero de valor similar al obtenido en el caso de cizalle perpendicular.

## 5.1 Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se ha efectuado un programa de ensayos para determinar la resistencia al cizalle a través del adhesivo de uniones encoladas de piezas de madera de pino radiata, considerando distintas direcciones de orientación de las fibras de las piezas que conforman la unión y dos rangos de valores para la densidad de la madera. Los resultados de los ensayos permiten concluir que la densidad de la madera es un parámetro que no tiene gran influencia en la resistencia al cizalle de la unión encolada y que la orientación de las fibras incide significativamente en la capacidad resistente al cizalle de la unión. Se encuentra que la resistencia al cizalle mixto, que es aquel que se genera en uniones conformadas por piezas que tienen sus fibras perpendiculares entre sí en la línea de encolado, es aproximadamente un 60% menor que la resistencia al cizalle paralelo. Además, se obtiene como resultado que la resistencia al cizalle mixto es similar a la resistencia al cizalle perpendicular a las fibras.

En base a los resultados experimentales obtenidos, se propone considerar un valor mínimo de resistencia al cizalle para elementos de madera contralaminada igual 3,3 MPa y un valor de 60% para el porcentaje mínimo de falla de madera. Estos dos valores que se propone corresponden, respectivamente, al 90% de aquellos obtenidos en los ensayos de cizalle mixto en probetas con densidad inferior a 500 kg/m<sup>3</sup>.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, P y Cofré, E. (2018). Estudio experimental de la incidencia de la orientación de las fibras en la resistencia al cizalle a través del adhesivo en un tablero de CLT. Memoria de título de Constructor Civil, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile.

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).

ISO (2007). Timber structures - Glued laminated timber- Method of test for shear strength of glue lines.12579:2007(E).1a ed. Switzerland.

INN (Instituto Nacional de Normalización) (2003). NCh 176/1. Madera – Parte 1: Determinación de humedad.

INN (Instituto Nacional de Normalización) (1988). NCh 176/2. Madera – Parte 2: Determinación de la densidad.

INN (Instituto Nacional de Normalización) (2013). NCh 2148 Madera laminada encolada estructural - Requisitos, métodos de muestreo e inspección.

INN (Instituto Nacional de Normalización) (1991). NCh 2150 Madera Laminada Encolada – Clasificación mecánica y visual de madera aserrada de pino radiata.

Homogeneizar las citas de las normativas acorde a las normas de presentación solicitadas