



MEDICIÓN DE DUCTILIDAD EN UNIONES TIPO CLAVIJA EN MADERA CONTRALAMINADA DE EUCALIPTUS NITENS TERMO TRATADO

DUCTILITY MEASUREMENT IN PIN-LIKE JOINTS IN *EUCALIPTUS NITENS* THERMO-TREATED WOOD

Manuel Suazo U.^{1*}, Víctor Rosales G.², Franco Benedetti L.³

¹Arquitecto. Depto. de Ciencias de la Construcción. FACORDI. UBB. Concepción, Chile.

²Ingeniero Civil en Ind. Forestales. Depto. de Ciencias de la Construcción. FACORDI. UBB. Concepción, Chile.

³Ingeniero Civil. Depto. de Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería. UBB. Concepción, Chile.

* Manuel Suazo U.: msuazo@ubiobio.cl

CÓDIGO: 4605994

Resumen

Proveer de ductilidad en zonas altamente sísmicas como en el caso de Chile, es fundamental para tener estructuras más seguras y con alta capacidad de disipación de energía. En el caso de la construcción en madera, en un contexto emergente de innovación con nuevos desafíos edilicios (rascacielos, infraestructuras, etc.), es en las uniones entre los elementos de la estructura donde se pueden disponer elementos, materiales o planear estrategias que pueden incrementar propiedades mecánicas, entre ellas la ductilidad.

En este contexto, se exponen los resultados de ensayos de Aplastamiento según las Normas ASTM D5764 norteamericana, fundamentales en las uniones comunes de tipo clavija (clavos, pernos, pasadores), de probetas hechas de placas Contralaminadas de madera termo tratada (thermowood), para medir sus propiedades mecánicas: resistencia, rigidez y ductilidad estática. Los resultados son incrementos de la ductilidad, debido a la disposición de fibras perpendiculares a la carga, creando un “efecto cuerda” que favorece una falla dúctil.

Palabras-clave: Ductilidad, Uniones, madera contralaminada

Abstract

Providing ductility in highly seismic areas, as in the case of Chile, is essential to have safer structures with high energy dissipation capacity. In the case of timber construction, in an emerging context of innovation with new building challenges (skyscrapers, infrastructure, etc.), it is in the joints between elements of the structure where elements, materials or planning strategies that can increase mechanical properties, including ductility.

In this context, the results of embedding tests, according to the American Standards ASTM D5764, fundamental in common pin-like joints (nails, bolts, dowels), of test pieces made from cross laminated timber plates of thermo-treated wood (thermo-wood), are exposed to measure their mechanical properties: strength, stiffness and static ductility. The results are increases in ductility, due to the arrangement of grain perpendicular to the load, creating a “rope effect” that favors a ductile failure.

Keywords: Ductility, Connections, cross-laminated timber



1. INTRODUCCIÓN

En estructuraciones de arquitecturas abiertas como pórticos rígidos o pórticos arriostrados, las uniones entre elementos lineales de madera pueden ser zonas fundamentales en cuanto a la provisión de capacidad resistente: resistencia, rigidez, ductilidad.

En ese sentido, en contextos sísmicos atendiendo al concepto neozelandés de “Diseño por Capacidad” (Priestley, 2011), los elementos lineales de madera en este tipo de estructuraciones, se diseñan para resistir dentro de su rango elástico evitando así las posibles fallas frágiles asociadas a elementos traccionados o flexionados y es, en las uniones entre elementos de madera donde se concentra la provisión de ductilidad que permite disipar energía sísmica, sin dañar la integridad global de la estructura (Brühl, Schänzlin, & Kuhlmann, 2014).

Un tipo de unión común en la construcción en madera es la que utiliza elementos de acero tipo “clavija”, clavos, pernos, pasadores (Arriaga, Iñiguez, Herrero, Argüelles, & Fernández, 2011) que aprovechando la posibilidad de aplastamiento dúctil de la madera, y controlando la posibilidad del desgarro frágil al producirse tracciones perpendiculares a la fibra, permite diseñar uniones capaces de incursionar en rango plástico, es decir, con un adecuado nivel de ductilidad (figura 1). A esto se suma la ventaja constructiva de que en muchos casos, las uniones son zonas visibles de la estructura y, por tanto, examinables en forma simple y fáciles de reparar, más aún en estructuras de madera, más livianas y manipulables.

En el contexto de los nuevos desafíos de la construcción en madera: edificios de mediana y de gran altura, equipamientos mayores, infraestructuras, etc, y observando la aparición de nuevos materiales en base a madera que mejoran sus prestaciones mecánicas y físicas, es fundamental caracterizar estos nuevos productos para sustentar su aplicación, cuestión que sustenta este documento.



Figura 1. Uniones tipo clavija: falla dúctil con clavos (Viaje de Estudios MCM_UBB, septiembre 2009, Universidad de Biberach, Alemania) y falla frágil con pasadores (Blass & Schadle, 2011)



1.1. Importancia de la Ductilidad

La ductilidad (Figura 2) es la capacidad de un material, un elemento o de un sistema estructural global de deformar plásticamente sin romperse (Benavent-Climent, 2010), y proveerla a una estructura, no solo es favorable para un adecuado desempeño frente a solicitaciones sísmicas, sino que otras razones para promover el diseño de estructuras dúctiles, pueden ser la de proveer estructuras seguras bajo cargas excepcionales o fallas repentinas locales, o para permitir el análisis plástico de redistribución de tensiones en estructuras hiperestáticas (Jorissen & Fragiacom, 2011).

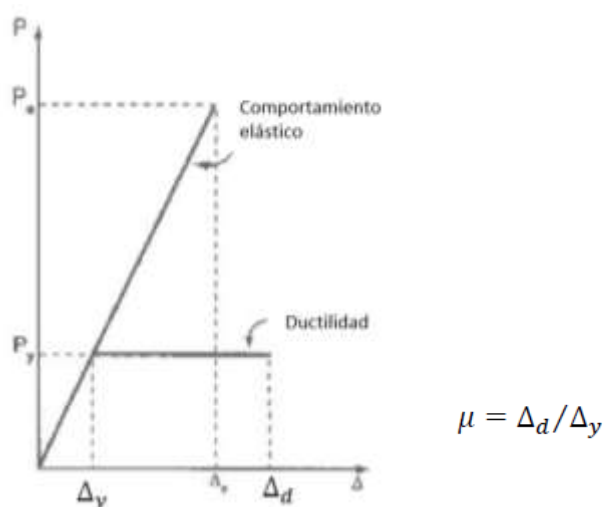


Figura 2: Comportamiento elástico no-dúctil (frágil) y definición de comportamiento dúctil μ (Buchanan, 2007)

La razón de proveer ductilidad en estructuras en zonas sísmicas, es que permite disipar energía bajo solicitaciones sísmicas. Una importante disipación de energía, reduce el efecto del terremoto en una estructura, y en definitiva, conduce a un mejor comportamiento general: cuanto mayor es la ductilidad, más baja es la acción sísmica que tiene que ser considerada en el diseño (Jorissen & Fragiacom, 2011)

1.2. Uniones en madera y Ductilidad

En los últimos años se puede observar un abundante número de investigaciones que apuntan a proveer de mejoras e incrementos en las propiedades mecánicas en los medios de unión de madera. En general se trata de soluciones que apuntan a mejorar soluciones existentes, introduciendo elementos de reforzamiento, manipulando parámetros o disposiciones sensibles de uniones conocidas, o proponiendo uniones innovadoras en que convergen estratégicamente diversos desarrollos tecnológicos.

No necesariamente estos incrementos se dan en forma paralela: en algunas uniones aumenta la rigidez, en otras la resistencia y en otras es mayor la ductilidad. Desde el punto de vista del diseño estructural de las uniones, esto puede ser un dato importante, pues se abren distintas opciones de solución en una misma estructura: por ejemplo, en un diseño



por capacidad, podremos distribuir mayor resistencia y/o rigidez en algunos puntos estratégicos de la estructura, y proveer de ductilidad en otros.

Centrándonos en la provisión de ductilidad, podemos citar por ejemplo, en uniones carpinteras tradicionales a compresión, (Branco, Piazza, & Cruz, 2011) caracterizan mecánicamente las distintas variaciones de las uniones embarbilladas; o en las uniones mecánicas con pernos, (Echavarría, Correa, & Echeverri, 2009) estudian el refuerzo con placas dentadas y su incidencia en la provisión de ductilidad; o se pueden citar algunas soluciones innovadoras como por ejemplo, la colocación de tornillos de rosca larga perpendiculares a la fibra y contiguos a los elementos tipo clavija presente en (Blass & Schadle, 2011), o el estudio de refuerzos con productos en base a Ingeniería de la madera, como placas de madera contrachapada en (Lederer, Bader, Unger, & Eberhardsteiner, 2016), o con placas de madera contralaminada (CLT) (Blass & Schadle, 2011); por último, mencionar investigaciones más innovadoras de (Leijten, 1998), que sustituyen pasadores, por tubos de acero hueco de mayor diámetro y placas de madera densificada.

2. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE DUCTILIDAD EN MADERA CONTRALAMINADA DE EUCALIPTUS NITENS TERMO TRATADO

En este contexto, se presentan los resultados experimentales para caracterizar mecánicamente muestras de madera Contralaminada de *Eucalyptus Nitens* termo tratado frente al ensayo de Aplastamiento de la Norma ASTM D5764-97^a. En este caso se observó el aplastamiento por compresión de una unión con una clavija tipo pasador de 20 mm de diámetro sobre probetas de madera Contralaminada (CLT) cargadas axialmente, en distintos formatos y configuraciones para observar específicamente la influencia de las fibras perpendiculares en el control de la falla por tracción perpendicular.

2.1. Materiales

El *Eucalyptus Nitens*, es una especie latifoleada importada en Chile desde Australia en los años 70s, de rápido crecimiento, actualmente con un gran volumen de producción, utilizado fundamentalmente como provisión de pulpa de celulosa para la fabricación de papel. Aunque tiene altas propiedades mecánicas, alta densidad y resistencia, el principal inconveniente para su aprovechamiento como componente constructivo o estructural, tiene que ver con la propensión a la aparición de grietas superficiales e internas especialmente en el plano tangencial, producto de las tensiones internas por su rápido crecimiento y por la dificultad de secado (Rozas, Sánchez, & Pinedo, 2005). En este sentido, el Contralaminado, como producto de Ingeniería de la madera que refuerza las fibras perpendicularmente, y donde el impacto de la presencia de grietas en el aprovechamiento se puede reducir disponiendo el material más susceptible en las capas intermedias y alejado de zonas comprometidas tensionalmente, es una alternativa atendible de desarrollo.

Por otro lado, el termo tratamiento es un tipo de modificación de la madera que mejora algunas de sus propiedades y puede reducir otras. Consiste en someter a la madera a tres fases de alta temperatura controlada en un medio con presencia de vapor: la primera fase es de secado a alta temperatura, la segunda de tratamiento térmico, y la tercera de refrigeración y acondicionamiento de la humedad. El resultado es una reducción en la



higroscopicidad de la madera, y en consecuencia un aumento en la durabilidad y estabilidad dimensional. Sin embargo, las propiedades mecánicas se pueden reducir, especialmente si se somete a temperaturas superiores a los 200° C (Vignote Peña, 2014).

El adhesivo para fijar las placas fue Poliuretano o PUR, mono componente y sin solventes por lo que se puede utilizar en menor cantidad mejorando el rendimiento. No emite formaldehído y solventes durante el proceso de encolado y en servicio. Es resistente al calor y a la humedad y se une bien a metales y a otros materiales. Como uso estructural en madera, es aplicable en uniones dentadas y en vigas doble T.

2.2. Ensayos al Aplastamiento de placas de madera Contralaminada

Los ensayos de aplastamiento, miden “la tensión última de compresión que es capaz de soportar la pieza, ejercida por un elemento lineal rígido que atraviesa la sección” (Argüelles, Arriaga, & Martínez, 2000). De los 3 ensayos normalizados a nivel mundial, se optó por el norteamericano ASTM D5764-97^a, en que una clavija de gran rigidez se encaja en una semi-perforación ubicada en la cara cargada de la probeta, permitiendo observar en forma más clara el comportamiento de la madera y la forma de falla (Santos, Morais, & Fontoura, 2013).

Los ensayos de aplastamiento se realizaron en el Laboratorio de Nanotecnología de la Universidad del Bío Bío en Concepción, Chile, usando la Máquina de ensayo universal INSTRON modelo 4468 con celda de carga de 50 kN y software de control Instron versión IX. La velocidad de carga fue de 1 mm/min, lo que permite evitar el efecto de la deformación diferida (creep). El desplazamiento máximo configurado inicialmente fue de 30 mm, cuestión sobrestimada, ya que el ensayo en algunos casos se detuvo mucho antes, sin describir toda la capacidad de las probetas -especialmente para las probetas de 5 capas-, o porque la máquina se detuvo al alcanzar un límite de sobretensión predefinido.

El dispositivo de ensayo se fabricó especialmente, soldando una pletina de acero de 8 mm a la parte lisa de un perno de acero grado 8 de 20 mm de diámetro. La geometría mínima de las probetas de madera contralaminada queda determinada por el diámetro del pasador. Para la ASTM D5764-97^a, las dimensiones del ancho y de longitud mínimas son 4 veces el diámetro o 50 mm. Para el protocolo de ensayo al aplastamiento europeo EN 383, la geometría es 6 veces el diámetro para el ancho y 7 veces para la longitud. Se utilizó el criterio de la Norma europea, para satisfacer ambos requerimientos. Es decir, al usar un pasador de 20 mm de diámetro, las probetas quedaron en 120 mm de ancho (b) por 140 mm de alto (h). Los espesores y densidades de las probetas laminadas para 3 capas varían entorno a los 39 mm y 658 kg/m³ respectivamente, y para las probetas contralaminadas, 34 mm y 680 kg/m³ de densidad. Todas las probetas fueron aclimatadas por una semana en Cámara Higrotérmica a 20°C y 65 % de contenido de humedad, e inmediatamente antes de los ensayos, cada una fue medida y pesada.

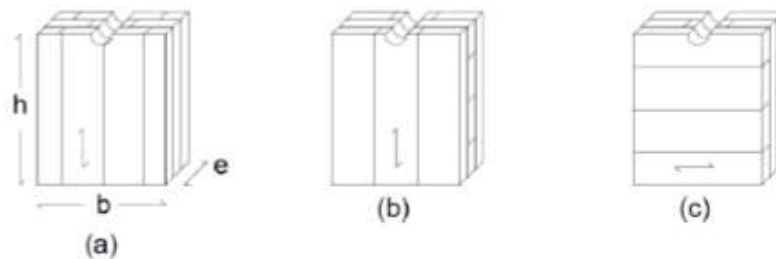


Figura 3: (a) placa de referencia: laminado 3 capas paralelas y parámetros geométricos principales; (b) placa Contralaminada: 3 capas con la cara exterior paralela a la carga; (c) placa Contralaminada: 3 capas con la cara exterior perpendicular a la carga.

Se fabricaron 23 probetas que se dividen en 3 grupos (ver Figura 3): uno de referencia con 5 probetas hechas en base a 3 capas paralelas de entre 11 y 13 mm, formando placas laminadas (a); un segundo grupo en base a 12 probetas de 3 capas de entre 11 y 13 mm Contralaminadas (CLT), subdivididas a su vez en dos sub-grupos, 6 con la cara exterior paralela a la carga (b) y 6 perpendicular (c); y un tercer grupo en base a 6 probetas de 5 capas de entre 11 y 13 mm subdivididas del mismo modo que las de 3 capas. Se exponen los resultados del primer y segundo grupo, con un volumen de madera equivalente y con resultados de comportamiento mecánico con una tendencia clara.

2.3. Definición de Parámetros

Para la definición de los parámetros se utilizó el Método ASTM D5764 - 97a, 2013 y referencia para la Norma Chilena 1198 (NCh 1198, 2014), conocido como del 5% de diámetro. El límite de fluencia se define como la intersección de una recta paralela a la rigidez inicial (pendiente entre 10% y 40% de la carga máxima) y la curva de prueba de carga-deformación. Esta línea recta paralela se ubica en el eje de desplazamiento a una distancia igual a 5% del diámetro del conector. El valor de carga de fluencia es un punto intermedio entre la carga proporcional y un valor que corresponde al 80% de la carga máxima. Para las deformaciones, se determinaron para el módulo de corrimiento los puntos $u_{0,1P_{max}}$ y $u_{0,4P_{max}}$ en referencia a los puntos descritos anteriormente, y la deformación u_y que corresponde al límite de fluencia, y u_f , que se corresponde con el 80% de la carga máxima (ver figura 4).

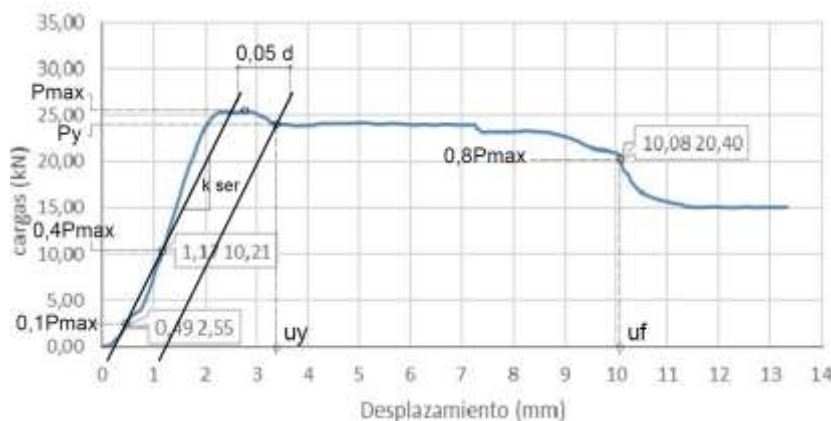


Figura 4: Definición de Parámetros para el método del 5% de diámetro.



Para la determinación la tensión de Aplastamiento, f_h , se utiliza la formulación

$$f_h = \frac{P_y}{d e} \quad (1)$$

Donde:

- P_y es la carga de fluencia,
- d es el diámetro del pasador y
- e , el espesor de la placa

Para determinar la Rigidez, se describe un módulo de corrimiento K :

$$K = \frac{0,4 f_{h,est}}{4/3(u_{0,4Pmax} - u_{0,1Pmax})} \quad (2)$$

Donde:

- $f_{h,est}$, equivale a la carga máxima P_{max} del gráfico y
- $u_{0,1Pmax}$ y $u_{0,4Pmax}$, son las deformaciones descritas anteriormente.

La ductilidad estática es el cociente entre u_f y u_y del gráfico, y para su clasificación, se utiliza la tabla 1 descrita por (Brühl, Schänzlin, & Kuhlmann, 2014).

Tabla 1. Clasificación de la Ductilidad (Brühl, Schänzlin, & Kuhlmann, 2014)

Clasificación	Relación de Ductilidad Estática
Frágil	$D_i \leq 2$
Ductilidad Baja	$2 \leq D_i \leq 4$
Ductilidad Media	$4 \leq D_i \leq 6$
Ductilidad Alta	$D_i \geq 6$

3. RESULTADOS

En la figura 5 (a) se describen los gráficos carga-desplazamiento y en la tabla 2 de la siguiente página, los resultados inferidos para las probetas de referencia.

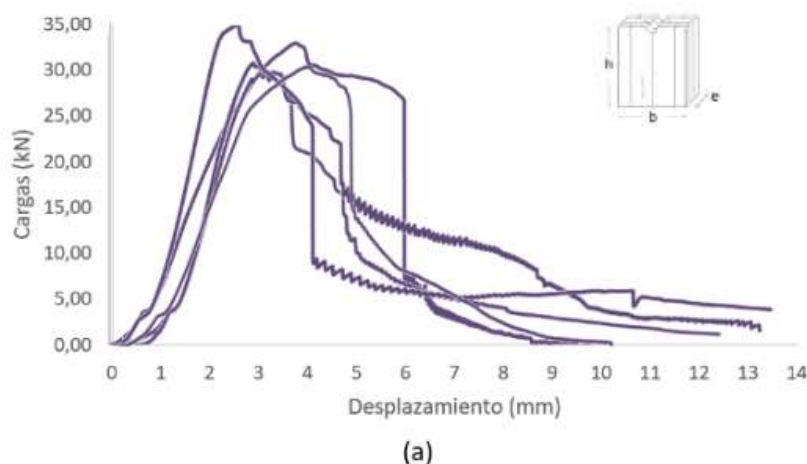


Figura 5. Gráficos carga -desplazamiento (a) rr – (1-5), placa de referencia: laminado 3 capas paralelas;



Tabla 2. Resultados probetas de referencia

	Tensión de Aplastamiento, f_h				Rigidez, módulo de corrimiento K				Ductilidad Estática, D			
	P_y (kN)	d (mm)	e (mm)	f_h (N/mm ²)	P_{max} (kN)	$u_{0,1P_{max}}$	$u_{0,4P_{max}}$	K (N/mm)	u_x (mm)	u_y (mm)	D	Clasificación
rr1	30,8	20,00	39,00	39,49	32,91	0,61	1,47	11480,23	5,98	4,00	1,5	frágil
rr2	27,5	20,00	39,00	35,26	29,60	1,14	1,86	12333,33	3,69	3,69	1,0	frágil
rr3	25,9	20,00	39,00	33,21	30,85	1,20	1,89	13413,04	4,27	3,95	1,1	frágil
rr4	28,6	20,00	38,00	37,63	35,11	0,61	1,37	13859,21	3,58	3,50	1,0	frágil
rr5	29,4	20,00	38,00	38,68	30,59	1,63	2,54	10084,62	5,64	5,22	1,1	frágil
prom.	28,44	20,00	38,60	36,85	31,81	1,04	1,83	12234,09	4,63	4,07	1,14	frágil
C.V. (%)	6,5			7,0	6,9			12,4				

En las figuras 6(b) y 6(c) se presentan los gráficos para las probetas de madera contralaminada. La tabla 3 expone el resumen de los resultados de estas últimas.

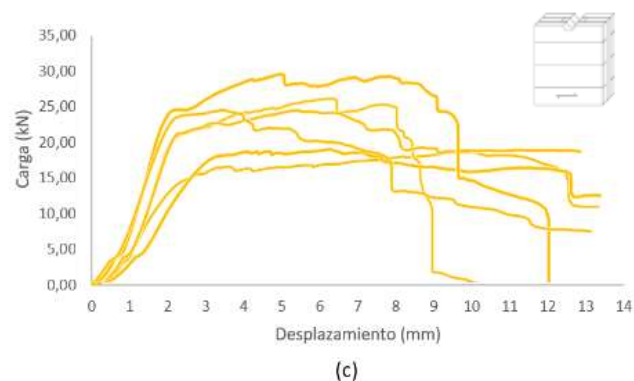
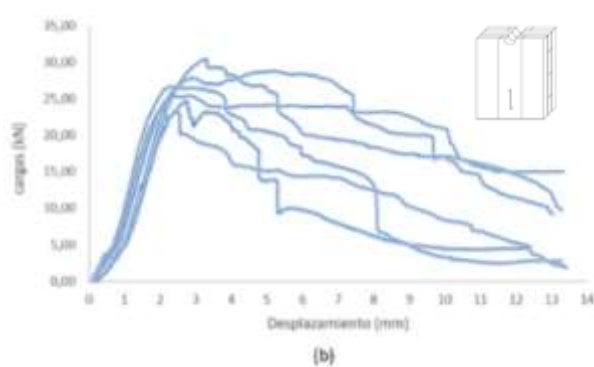


Figura 6. (b) X_{3-0} –(1-6), placa Contralaminada: 3 capas con la cara exterior paralela a la carga; (c) X_{3-90} –(1-6), placa Contralaminada: 3 capas con la cara exterior perpendicular a la carga;

Tabla 3. Resultados probetas de madera contralaminada

	Tensión de Aplastamiento, f_h				Rigidez, módulo de corrimiento K				Ductilidad Estática, D			
	P_y (kN)	d (mm)	e (mm)	f_h (N/mm ²)	P_{max} (kN)	$u_{0,1P_{max}}$	$u_{0,4P_{max}}$	K (N/mm)	u_x (mm)	u_y (mm)	D	Clasificación
x3-0-1	24,00	20	33	36,36	25,49	0,49	1,17	11245,59	10,08	3,41	3,0	baja ductilidad
x3-0-2	23,35	20	34	34,34	25,03	1,48	2,23	10012,00	5,22	4,55	1,1	frágil
x3-0-3	28,90	20	35	41,29	30,03	0,81	1,62	11122,22	7,72	4,21	1,8	frágil
x3-0-4	28,15	20	34	41,40	30,23	0,80	1,59	11479,75	5,35	3,98	1,3	frágil
x3-0-5	25,75	20	34	37,87	26,39	0,38	1,06	11642,65	4,46	3,36	1,3	frágil
x3-0-6	19,69	20	34	28,96	23,96	0,36	1,00	11231,25	3,12	2,9	1,1	frágil
promedio	24,97	20,00	34,00	36,70	26,86	0,72	1,45	11122,24	5,99	3,74	1,61	frágil
C.V. (%)	13,6			12,8	9,9			5,2				
x3-90-1	16,65	20	33	25,23	18,75	0,56	1,33	7305,19	12,52	3,55	3,5	baja ductilidad
x3-90-2	24,29	20	33	36,80	26,72	1,15	1,90	10688,00	8,71	4,20	2,1	baja ductilidad
x3-90-3	22,61	20	34	33,25	24,32	1,22	1,98	9600,00	8,63	3,50	2,5	baja ductilidad
x3-90-4	17,64	20	34	25,94	19,09	0,83	1,72	6434,83	12,56	4,46	2,8	baja ductilidad
x3-90-5	27,66	20	33	41,91	29,50	0,57	1,30	12123,29	9,57	3,66	2,6	baja ductilidad
x3-90-6	24,55	20	33	37,20	24,76	0,47	1,26	9402,53	6,92	3,86	1,8	frágil
promedio	22,23			33,39	23,86			9258,97	9,82	3,87	2,5	baja ductilidad
C.V. (%)	19,2			19,9	17,8			22,7				



4. CONCLUSIONES

- En cuanto a la Resistencia medida con la tensión de aplastamiento, no se observa una reducción importante al comparar la referencia, rr, con las placas de madera contralaminada, x3-0 y x3-90, si consideramos no perder de vista una importante reducción del área de madera más resistente (paralela a la fibra) de las placas contralaminadas a 3/5 y 2/5 respectivamente.
- Sobre la rigidez, las probetas de referencia son más rígidas que las contralaminadas que alcanzan a un 90 % en el caso de las placas con predominio de fibras paralelas (x3-0) y a un menor valor en el caso de las placas con predominio de fibras perpendiculares (x3-90), aunque estos últimos datos son bastante más dispersos (sobre el 20 % del C.V.). Sin embargo, se observa la formación de una rigidez pos elástica en estas últimas, que se puede relacionar directamente con un incremento de la ductilidad.
- En cuanto a la provisión de ductilidad estática, se corrobora lo indicado por la literatura en cuanto a su incremento al usar placas de madera Contralaminada. Como se indicó, este incremento se relaciona directamente con la disposición de fibras perpendiculares a la carga. Las placas de referencia (rr) de 3 capas paralelas tienen un comportamiento frágil ($D=1,1$). Al disponer 1 de 3 capas perpendicularmente (x3-0), se incrementa la ductilidad a 1,6, y cuando son 2 de 3 capas (x3-90), el incremento es más del doble que el de referencia: 2,5, clasificándose como baja ductilidad. El aporte de las fibras aplastadas perpendicularmente, implica concentrar mayor material resistente frente a la carga, creando un “efecto de cuerda” que beneficia el comportamiento global de la sección en términos de mayor ductilidad, fenómeno aún más notorio en las placas de 5 capas (figura 7 b y c), no expuestas en este artículo.
- Sobre los modos de falla un defecto común, especialmente en las placas contralaminadas de 3 capas, fue el deslaminamiento de la línea de cola entre capas (ver figura 7 a). Esto se produjo debido a una inadecuada adherencia superficial del adhesivo en alguna de las caras, que rompió por la presión de las fibras aplastadas de la capa central al aumentar su volumen.

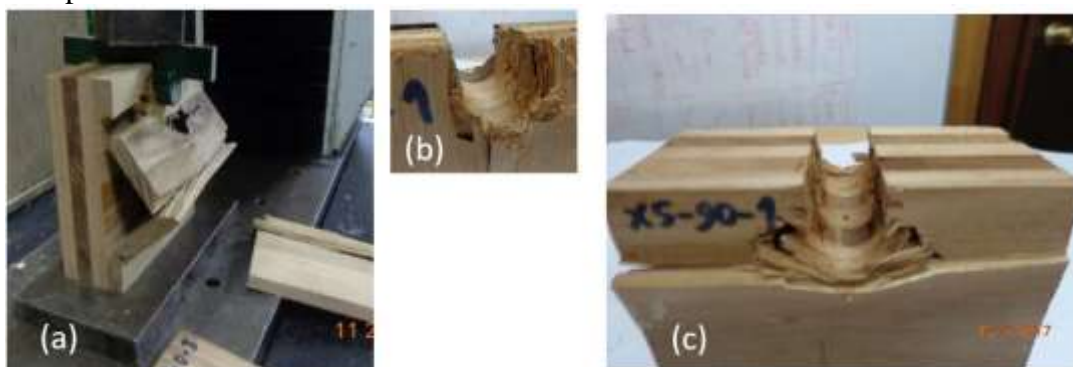


Figura 7. Falla en placas contralaminadas de 5 capas con fibras en la cara exterior perpendicular (a) y detalle del “efecto cuerda” (b y c). (Foto del autor).



5. BIBLIOGRAFÍA

- Argüelles, R., Arriaga, F., & Martínez, J. (2000). *Estructuras de Madera. Diseño y Cálculo*. Madrid: AITIM.
- Arriaga, F., Iñiguez, G., Herrero, M., Argüelles, R., & Fernández, J. (2011). *Documento Técnico: Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera*. Madrid: Maderia Construcción.
- Augustin, M. (2008). Ultimate Limit States - Joints. En *Handbook 1 - Timber Structures* (págs. 136-157). Leonardo Da Vinci.
- Benavent-Climent, A. (2010). *Estructuras sismoresistentes*. Madrid: Maia.
- Blass, H. J., & Schadle, P. (2011). Ductility aspects of reinforced and non-reinforced timber joints. *Engineering Structures*, 3018-3026.
- Branco, J. M., Piazza, M., & Cruz, P. J. (2011). Experimental evaluation of different strengthening techniques of traditional timber connections. *Engineering Structures*. 33 (8), 2259-2270.
- Brühl, F., Schänzlin, J., & Kuhlmann, U. (2014). Ductility in Timber Structures: Investigations on Over-Strength Factors. *Materials and Joints in Timber Structures*, 182-190.
- Buchanan, A. (2007). Design for lateral forces. En A. Buchanan, *Timber Design Guide* (págs. 135-148). Canterbury: New Zealand Timber Industry Federation Inc.
- Echavarría, C., Correa, C., & Echeverri, C. (2009). Conexiones pernadas de madera reforzadas con placas dentadas de acero. *Dyna*, 98-108.
- Jorissen, A., & Fragiacomio, M. (2011). General notes on ductility in timber structures. *Engineering Structures*, 2987-2997.
- Lederer, W., Bader, T., Unger, G., & Eberhardsteiner, J. (2016). Influence of different types of reinforcements on the embedment behavior of steel dowels in wood.
- Leijten, A. J. (1998). Reinforced joints with expanded tube fasteners. En A. J. Leijten, *Densified veneer wood reinforced timber joints with expanded tube fasteners* (págs. 57-67). Delft: Delf University Press.
- Priestley, M. J. (2011). Problems with Seismic Design Based on Elastic Stiffness. *Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand .
- Rozas, C., Sánchez, R., & Pinedo, P. (2005). Secado de eucalyptus nitens y globulus y su aprovechamiento en blocks, pisos y muebles. . *Maderas. Ciencia y tecnología.*, 109-120.
- Santos, C., Morais, J., & Fontoura, B. (2013). An experimental comparison of strengthening solutions for dowel-type wood connections. *Construction and Building Materials*, 114-127.
- Vignote Peña, S. (2014). *Productos derivados de la madera.* . Madrid: UPM.