

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE UNIONES ENDENTADAS EN MADERA DE PINO RADIATA CHILENO

BENDING RESISTANCE OF FINGER-JOINT IN CHILEAN RADIATA PINE

Eduardo A. Pérez ⁽¹⁾, José A. Santolaya ⁽²⁾, Paulina González ⁽³⁾ (P), Erick I. Saavedra ⁽⁴⁾

(1) Profesor Adjunto, Jefe de Laboratorio Área Maderas, LIMUS-USACH, Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en Obras Civiles

(2) Constructor Civil, Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en Obras Civiles

(3) Profesor Asociado, Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en Obras Civiles

(4) Profesor Asistente PhD, Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en Obras Civiles

Dirección de contacto: paulina.gonzalez@usach.cl; (P) Presentadora

Código de identificación: T6-16

Resumen

Se estudia la capacidad de resistencia a la flexión de uniones endentadas (finger joints) en madera aserrada de pino radiata chileno. Se efectúan ensayos en 40 probetas fabricadas mediante la unión de dos piezas de madera; en 20 de ellas se utilizó un adhesivo estructural de dos componentes (emulsión de polímero e isocianato) y en las 20 restantes se empleó adhesivo no estructural (a base de acetato de polivinilo). En 10 probetas de cada grupo se empleó unión de orientación vertical, y en los otros 10 se materializó una unión horizontal. Además, con el objeto de disponer de un patrón de referencia de la resistencia de las probetas, se realizaron ensayos en 10 probetas sin uniones, de las mismas dimensiones que las probetas conformadas con uniones endentadas. El total de las probetas fueron elaboradas y ensayadas en el laboratorio de investigación de materiales de la Universidad de Santiago de Chile (LIMUS – USACH). Se utilizó la normativa chilena para la clasificación de la madera y para la fabricación de las probetas. Por su parte, los ensayos de flexión se realizaron empleando la norma australiana AS 5068-2006, y la clasificación de los tipos de falla se efectuó en conformidad con la norma americana ASTM D4688. Los ensayos realizados entregan como resultado que la resistencia a la flexión de las piezas de madera se reduce entre un 50% y un 60% debido a la existencia de una unión endentada.

Palabras clave: uniones endentadas en madera; resistencia de uniones en madera; resistencia a flexión de uniones endentadas

Abstract

Capacity of bending resistance of finger joints in sawn wood from Chilean radiata pine is studied. Tests are done in 40 samples made joining two wooden pieces; a two components (Polymer and isocianato emulsion) structural glue was used in 20 of them. In the other 20, non structural glue (based in polyvinyl acetate) was used. In 10 samples of each group vertical orientation of finger joints was used, in the other 10 a horizontal finger joints was materialized.

In addition, with the objective to get a reference pattern of the samples resistance, tests in 10 samples without joints were done, with the same measures as the jointed samples. Every tested sample was made at the Universidad de Santiago de Chile, Materials Investigation Laboratory (LIMUS-USACH). Chilean standard to classify and manufacture of samples was used. Bending tests were done according to Australian standard AS 5068-2006, classification of kinds of failures was done according to American Standard ASTM D4688. Tests done give as a result that bending resistance of timber pieces is reduced between 50% and 60% due to a finger joint.

Keywords: *timber finger joints; bending resistance of timber finger joints; resistance of timber joints*

1. INTRODUCCIÓN

En la norma ASTM D-5572 [1] se define la unión endentada a aquella unión que permite adherir 2 piezas de madera, en cada una de las cuales se ha materializado un corte en forma de dedos en los extremos en que serán unidas. En la referencia [2] se presenta un método para producir uniones endentadas, junto con un estudio relativo al efecto de la geometría del endentado de la unión y la presión que se debe aplicar para materializarla, tanto en maderas coníferas como en maderas latifoliadas. Diversos estudios han sido realizados respecto de la reducción de resistencia que se produce en la madera debido a la presencia de unión endentada, en uno de ellos [3] se concluye que la resistencia de la unión endentada es de un 60% respecto de la resistencia de la madera sólida en los ensayos de flexión, y de 41% en los ensayos de tracción. En otro estudio se realiza un análisis microscópico de las fallas concluyendo que la causa principal de su ocurrencia se debe a cantidad insuficiente de adhesivo y pobre penetración de éste en la madera de verano [4]. En la revisión bibliográfica realizada no se encontraron estudios de resistencia de uniones endentadas elaboradas en pino radiata con adhesivo estructural libre de formaldehído.

Entonces, en este trabajo se presenta un estudio de la resistencia a la flexión de uniones endentadas materializadas en pino radiata chileno, utilizando un adhesivo estructural, sin contenido de formaldehído, y uno no estructural (PVA).

2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1 Materiales empleados en la elaboración de las probetas

Un total de 90 piezas de madera de pino radiata chileno, se emplean para fabricar 50 probetas en las dependencias del laboratorio de investigación de materiales de la Universidad de Santiago de Chile (LIMUS-USACH). Las dimensiones de 80 de estas piezas son 300 mm de longitud, 90 mm de ancho y 41 mm de espesor, las cuales se utilizan para elaborar 40 probetas mediante unión endentada o finger-joint. Las 10 piezas restantes, de 600 mm de longitud, 90 mm de ancho y 41 mm de espesor, corresponden a 10 probetas, que se elaboran sin ningún tipo de unión, para utilizarlas como patrón de comparación de los ensayos de resistencia a la flexión de las uniones endentadas. En 20 de las 40 probetas, fabricadas con unión finger-joint, se emplea un adhesivo estructural (EPI) de dos componentes (resina Prefere 6151 y catalizador Prefere 6651), que está libre de formaldehído. En la unión de las 20 restantes se utiliza adhesivo no estructural (acetato de polivinilo o PVA).

2.2 Procedimiento de elaboración de las probetas

Las 90 piezas de madera que se emplean en la fabricación de las probetas se seleccionan desde el material existente en el laboratorio LIMUS - USACH. Se utilizan las normas chilenas NCh2148 y NCh2150 [5, 6] para realizar la clasificación visual de las piezas disponibles, descartando aquellas en las cuales la presencia de fallas tales como nudos, alabeos o cantos muertos están fuera de los rangos admisibles o que los defectos no puedan corregirse una vez dimensionadas las probetas.

Después de seleccionar las piezas se procede a su dimensionamiento, usando la sierra vertical fija que se muestra en la Figura 1, luego se enumeran y clasifican según su densidad y contenido de humedad. El contenido de humedad se determina empleando el método de secado en horno y las disposiciones de la norma chilena NCh176/1 [7]; entonces, se mantienen las probetas durante 48 horas dentro del horno a temperatura constante de 103 °C ($\pm 2^\circ\text{C}$), luego se enfrían a temperatura ambiente y se determina su contenido de humedad. En la Figura 2 se muestran las piezas de madera al interior del horno en el inicio del proceso de secado. Para determinar la densidad se emplea la norma chilena NCh176/2 [8], una balanza digital y un volumenómetro de mercurio.



Figura 1: Sierra circular vertical fija



Figura 2: Proceso de secado en horno de las probetas

Para elaborar las probetas con unión endentada, se forman parejas de piezas que tienen valores similares de densidad de referencia. Se consideran dos tipos de uniones, una en el canto (perfil horizontal) y la otra en la cara (perfil vertical), como se muestra en la Figura 3.

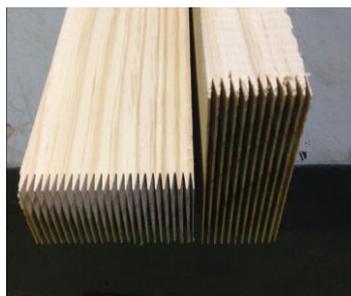


Figura 3: Perfiles de corte para unión endentada: cara y canto

En la Tabla 1 se muestran los valores promedio de las densidades de referencia de las probetas agrupadas según tipo de unión y tipo de adhesivo utilizado.

Tabla 1: Densidades de referencia promedio de probetas

Tipo de unión	Adhesivo	Densidad de referencia (Kg/m ³)
Sin unión	--	521,6
Cara	EPI	506,9
Canto	EPI	474,0
Cara	PVA	459,6
Canto	PVA	478,9

El proceso de encolado de las 40 probetas se realiza aplicando el adhesivo con brocha, utilizando los dos tipos de adhesivos mencionados, EPI y PVA; posteriormente se emplea una prensa hidráulica para sellar la unión, y luego se debe esperar un tiempo suficiente para que se produzca el fraguado del adhesivo antes de realizar los ensayos de resistencia a la flexión de la unión. Una vez concluido el tiempo de fraguado del adhesivo, en este caso de una semana, se efectúa un proceso de cepillado de las probetas con el objeto de eliminar el exceso de adhesivo y cualquier otra imperfección que se produce durante la ejecución de la unión, como se puede apreciar en la Figura 4.



Figura 4: Proceso de cepillado de las probetas.

Finalmente, se elabora un registro con la identificación de cada probeta, el tipo de adhesivo empleado y su escuadría, cuyo valor promedio es de 37,6 mm de espesor y 86,4 mm de ancho.

2.3 Procedimiento de ensayo de resistencia a la flexión

Los ensayos de flexión de la totalidad de las probetas se realizan en conformidad con las disposiciones de la norma australiana AS 5068-2006 [9], en el laboratorio de investigación de la Universidad de Santiago de Chile (LIMUS – USACH). En la Figura 5 se muestra el montaje de un ensayo típico, en el cual la luz libre de las probetas es de 520 mm, mayor que 12 veces su espesor, satisfaciendo de esta manera lo indicado en la norma mencionada. La resistencia a la flexión (R_f) de la probeta queda determinada por la tensión máxima de rotura que se obtiene aplicando la fórmula de Navier. El tipo de falla de las probetas se clasifica utilizando la norma ASTM D4688 [10].



Figura 5: Ensayo de resistencia a la flexión.

3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

3.1 Resistencia a la flexión

En la Tabla 2 se muestran los valores promedio de la resistencia a la flexión (R_f), la desviación standard y el coeficiente de variación de los resultados obtenidos en todas las probetas. También se incluye la diferencia promedio en porcentaje (D_p) de los resultados obtenidos en las probetas con uniones endentadas respecto de las probetas sin unión.

Tabla 2: Resistencia a la flexión (R_f) en probetas

Tipo de unión	Adhesivo	R_f (MPa)	Desviación Standard (MPa)	Coficiente de variación (%)	D_p (%)
Sin unión	Sin adhesivo	69,6	10,5	15	0,0
Cara	EPI	32,9	6,4	19	52,7
Canto	EPI	33,8	5,8	17	51,4
Cara	PVA	30,7	3,4	11	55,9
Canto	PVA	29,8	5,1	17	57,2

Los resultados obtenidos son similares a aquellos que se consignan en un trabajo realizado en el año 2004 [11], en el cual se obtuvo un valor promedio de resistencia a la flexión de 34,1 (MPa), con una desviación standard de 7,4 (MPa) y un coeficiente de variación de 21,7%. Estos resultados fueron obtenidos utilizando 70 probetas de pino radiata fabricadas y ensayadas en conformidad con las disposiciones de la norma AS/NZS 1491:1996 [12], aplicando una carga puntual en el centro de la luz de la probeta, coincidente con la unión endentada. En ese trabajo se utilizó adhesivo resorcinol formaldehído y urea-formaldehído para materializar la unión.

De los resultados que arrojan los ensayos realizados tanto en el presente trabajo como aquellos obtenidos en la referencia [11], se deduce que la resistencia a flexión de la unión endentada prácticamente no depende del tipo de adhesivo empleado ni de su perfil, cara o canto.

3.2 Clasificación de las fallas en las probetas

En la Tabla 3 se presenta la clasificación de las fallas que se generan en las probetas, según la norma ASTM D4688 [6]. Estos resultados se presentan en porcentaje para cada tipo de falla, el cual se ha calculado para cada tipo de unión y para cada tipo de adhesivo.

Tabla 3: Clasificación de las fallas en probetas según ASTM D4688

Tipo de unión	Adhesivo	Falla en la unión (%)	Falla en la madera (%)
Cara	EPI	50	50
Canto	EPI	60	40
Cara	PVA	50	50
Canto	PVA	10	90
Total muestra		42,5	57,5

De los resultados que se muestran en la Tabla 3, se deduce que la proporción de fallas en la madera es ligeramente superior a las fallas que se producen en la unión propiamente tal.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indican que la resistencia a la flexión de las piezas de madera se reduce entre un 50% y un 60% debido a la existencia de una unión endentada (finger-joint), respecto de la madera sin unión. No se presentan grandes diferencias entre las resistencias que se logran utilizando adhesivo estructural y aquellas que se obtienen empleando adhesivo tipo PVA, y prácticamente tampoco existen diferencias entre las resistencias a la flexión obtenidas en los dos tipos de perfil de la unión (cara y canto). La reducción de la resistencia a la flexión es del orden de 52% para uniones con adhesivo estructural EPI y superior al 56% para las uniones materializadas con PVA. Esta reducción alcanza un valor de 54 %, aproximadamente para los dos perfiles de unión, cara y canto.

La proporción de las fallas que ocurren en la madera, según la clasificación de la norma ASTM D4688, es ligeramente superior (57,5%) a las que se presentan en la unión misma (42,5%).

En este trabajo no se detecta una relación clara entre la densidad de la madera y su resistencia a la flexión.

REFERENCIAS

- [1] ASTM D-5572 'Standard specification for adhesives used for finger joints in non structural lumber products' (1995).
- [2] Selbo, M., 'Effect of joint geometry on tensile strength of finger joints', *Forest Products Journal* **13** (9) (1963) 390-400.
- [3] Pruzzo, F. y Ramos, M., 'Estudio comparativo de uniones encoladas versus madera sólida de Pinus Radiata D. Don. Chile', *Silvicultura, Manejo y Tecnología*, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile (1992) 285-291.
- [4] Kutscha, N. y Caster, R., 'Factors affecting the bond quality of finger joint. *Forest Products Journal* **37** (5) (1963) 13-16.
- [5] Instituto Nacional de Normalización, INN Chile, 'NCh 2148. Of 1989. Madera laminada encolada estructural - requisitos e inspección' (1989).
- [6] Instituto Nacional de Normalización, INN Chile, 'NCh 2150. Of 1989. Madera laminada encolada - clasificación mecánica y visual de madera aserrada de pino radiata' (1989).
- [7] Instituto Nacional de Normalización, INN Chile, 'NCh 176/1. Of 2003. Madera – Parte 1: Determinación del contenido de humedad' (2003).
- [8] Instituto Nacional de Normalización, INN Chile, 'NCh 176/. Of 2003. Madera – Parte 2: Determinación de la densidad' (2003).
- [9] Australian Standard, 'AS 5068-2006 – Timber, finger joints in structural products, production requirements' (2006).
- [10] ASTM D4688 'Standard test method for evaluating structural adhesives for finger jointing lumber' (2014).

- [11] Tolhuijsen, J., ‘Evaluación de los factores que inciden sobre la resistencia de las láminas con uniones endentadas destinadas a la fabricación de vigas de madera laminada encolada en pino radiata’, Memoria de título de Ingeniero Civil, con Diploma en Ingeniería Estructural, Pontificia Universidad Católica de Chile (2004).
- [12] AS/NZS 1491:1996, ‘Finger jointed structural timber’ (1996).