



Resistencia al aplastamiento en madera de *Populus x canadensis* 'Conti 12' para uniones tipo clavija, en dirección paralela y en dirección perpendicular a las fibras.

Embedding strength in *Populus x canadensis* 'Conti 12' wood dowel-type joints, in both directions parallel and perpendicular to the fibers.

Presentación: 09/11/2021

Aprobación: 12/04/2022

Ricardo Bassotti

Grupo de Estudios de Estructuras Civiles (GEDEC) – Facultad Regional San Rafael – Universidad Tecnológica Nacional – Argentina
rbassotti@frsr.utn.edu.ar

Cristian Balastegui

Grupo de Estudios de Estructuras Civiles (GEDEC) – Facultad Regional San Rafael – Universidad Tecnológica Nacional – Argentina
balasteguicristian@gmail.com

Nicolás Cortizo

Grupo de Estudios de Estructuras Civiles (GEDEC) – Facultad Regional San Rafael – Universidad Tecnológica Nacional – Argentina
ncortizo@frsr.utn.edu.ar

Cristian Bay

Grupo de Estudios de Estructuras Civiles (GEDEC) – Facultad Regional San Rafael – Universidad Tecnológica Nacional – Argentina
cbay@frsr.utn.edu.ar

Resumen

En este estudio se presentan los resultados obtenidos de ensayos para determinar la resistencia al aplastamiento en uniones tipo clavija, en dirección paralela y en dirección perpendicular a las fibras, de la especie forestal *Populus x canadensis* 'Conti 12'. Los ensayos se realizaron según las especificaciones establecidas en la Norma UNE-EN 383:2007 utilizando

pernos de diámetros 5, 6, 7, 8, 10 y 12 mm. Se determinaron las tensiones de aplastamiento en ambas direcciones, resultando en dirección paralela a las fibras mayores que las obtenidas en dirección perpendicular a las fibras. En ambos casos los valores de la resistencia disminuyen a medida que aumenta el diámetro del pasador. El valor medio de la resistencia al aplastamiento para todas las muestras ensayadas en dirección paralela a las fibras resultó de 25,8 N/mm² y el valor del percentil 5% de 19,9 N/mm². En dirección perpendicular a las fibras el valor medio resultó de 17,4 N/mm² y el valor del percentil 5% de 10,6 N/mm². El valor medio de la densidad corregida a un contenido de humedad del 12% resultó de 406 kg/m³. Se compararon los valores de resistencia con los incluidos en el Suplemento 4 del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 y resultaron entre un 40% y un 67% menores, dependiendo de la dirección de aplicación de la carga en relación a la fibra y los diámetros de los pasadores.

Palabras claves: Resistencia al aplastamiento, *Populus x canadensis* 'Conti 12', Densidad, CIRSOC 601

Abstract

This study presents the results obtained from tests to determine the embedding strength in dowel-type joints, in the parallel direction and in the direction perpendicular to the fibers, of the *Populus x canadensis* 'Conti 12' forest species. The tests were performed according to the specifications established in the UNE-EN 383:2007 Standard using bolts of diameters 5, 6, 7, 8, 10 and 12 mm. The embedding strengths were determined in both directions, with the results in the direction parallel to the fibers being higher than those obtained in the direction perpendicular to the fibers. In both cases the resistance values decrease as the pin diameter increases. The mean value of the crush resistance for all specimens tested in the direction parallel to the fibers was 25.8 N/mm² and the 5% percentile value was 19.9 N/mm². In the direction perpendicular to the fibers, the mean value was 17.4 N/mm² and the 5% percentile value was 10.6 N/mm². The mean value of the corrected density at a moisture content of 12% was 406 kg/m³. The resistance values were compared with those included in Supplement 4 of the Argentinean Regulation of Wood Structures CIRSOC 601 and were between 40% and 69% lower, depending on the direction of load application in relation to the fiber and dowel diameters.

Keywords: Embedding strength, *Populus x canadensis* 'Conti 12', Density, CIRSOC 601

1. Introducción

El valor de la resistencia al aplastamiento de las diferentes clases de maderas es indispensable para la determinación de la capacidad resistente de una unión en la mayoría de los métodos utilizados actualmente. El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera, (CIRSOC 601, 2016), establece en el capítulo 8 la metodología para determinar la resistencia de una unión de elementos de madera, y para tal determinación es necesario conocer el valor de la resistencia al aplastamiento de la madera y el valor característico de la tensión de fluencia de la clavija utilizada en la unión.

Si no se disponen de valores de resistencia al aplastamiento el Reglamento permite obtenerla a partir de la Tabla S.4.1.1-1 (CIRSOC 601). En dicha tabla se presentan valores de resistencia al aplastamiento de referencia, F_c , en N/mm², para uniones con elementos de

fijación tipo clavija sometidas a carga lateral, en función de la gravedad anhidra de la madera y del diámetro de perno. Esta tabla tiene su origen en la publicada en las NDS (NDS American Wood Council, 2005), como tabla 11.3.2, la cual sigue vigente como tabla 12.3.3. en la actualización 2015.

Existen trabajos de investigación previos sobre madera aserrada de bosques implantados en la República Argentina de álamo *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' (Manavella *et al.*, 2017), y también variedades de pinos (Manavella *et al.*, 2012) y eucaliptos (Sosa Zitto *et al.*, 2012), donde se presentan los valores obtenidos de la resistencia al aplastamiento en direcciones paralela y perpendicular a la fibra, la relación entre la variación de los valores de la tensión de aplastamiento en relación a la densidad y los diámetros de los pasadores y las curvas tensión de aplastamiento vs deformación. Para los casos de la madera de álamo y pino, se han comparado los valores de resistencia al aplastamiento experimentales con los presentados en el CIRSOC 601, observándose que los resultados de ensayo difieren considerablemente de los valores de referencia indicados por el Reglamento.

Diversos autores presentan los resultados obtenidos de ensayos realizados para la determinación de la resistencia al aplastamiento de uniones tipo clavija para diferentes tipos de madera de diferentes países. Sawata y Yasumura (2002) realizaron ensayos para la determinación de las tensiones de aplastamiento de madera aserrada de *Picea jezoensis* Carriere y *Abies sachalinensis* Fr. Schmidt de Japón, utilizando diámetros de clavijas de acero de 8, 12, 16, and 20 mm, en dirección paralela y dirección perpendicular a la fibra. Hübner (2008) presenta resultados de madera aserrada de haya *Fagus sylvatica* L., fresno *Fraxinus excelsior* L. y acacia blanca *Robinia pseudoacacia* L., ensayada con diámetros de pernos de acero de 6, 8, 12, 16 y 20 mm en direcciones paralela y perpendicular a la fibra y además orientaciones de 30° y 60° respecto de la fibra. Glišović *et al.* (2012), presentan resultados realizados con madera aserrada de pino, abeto y roble, utilizando un pasador de acero de 12 mm de diámetro y en dirección paralela a la fibra. Dos Santos *et al.* (2015) presentan resultados de ensayos de aplastamiento en madera de pino utilizando un pasador de acero de 14 mm de diámetro y en dirección paralela y perpendicular a la fibra. Van Blokland *et al.* (2021) presentan resultados experimentales realizados en madera de abetos noruegos *Picea abis* [L.] Karst utilizando pasadores de acero de 10 mm de diámetro y en direcciones paralela y perpendicular a la fibra.

En todos los casos se presentan resultados de ensayos realizados según las prescripciones de la norma europea EN 383:1997/2007, y se realizan determinaciones de los valores de resistencia al aplastamiento en dirección paralela a las fibras, o dirección longitudinal, en dirección perpendicular a las fibras, o dirección radial, y se determina la diferencia que se obtiene en los valores en ambas direcciones y la densidad de la madera aserrada utilizada en los ensayos. Se presentan también las relaciones que se dan entre los valores de las resistencias al aplastamiento y la densidad de la madera. En algunos casos se incluyen las curvas que relacionan las cargas aplicadas o la resistencia en tensión vs. las deformaciones que se producen al incrustarse el pasador de acero en la madera, adicionalmente algunos presentan los resultados de las variaciones en la resistencia al aplastamiento en función al diámetro del pasador utilizado.

El objetivo del trabajo es determinar por medio de ensayos la resistencia al aplastamiento de acuerdo con la Norma UNE-EN 383 (2007) de la madera de álamo *Populus x canadensis* 'Conti 12' en ambas direcciones, paralela y perpendicular a la fibra, utilizando pernos rígidos de acero de 5, 6, 7, 8, 10 y 12 mm, y comparar los valores obtenidos con los que se incluyen en la Tabla S.4.1.1-1. del Reglamento CIRSOC 601, a fin de ratificar o desestimar las

tendencias observadas en publicaciones anteriores.

2. Materiales y métodos

Las probetas de ensayo se obtuvieron de madera aserrada de álamo de la variedad *Populus x canadensis* 'Conti 12', de árboles provenientes de dos plantaciones del oasis irrigado medio de la provincia de Mendoza, una en la zona denominada La Primavera y otra en la zona de Capiz, ambas próximas a la ciudad de Tunuyán. Se realizó el aserrado en una empresa de la ciudad de Tunuyán y posteriormente se envió el material al Laboratorio de Estructuras de la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional, donde se estibaron las tablas hasta alcanzar la humedad natural ambiente. De las tablas de 2,40 m de longitud y secciones transversales de 1" de espesor y 4" de ancho y de 1" de espesor y 5" de ancho, se seleccionaron trozos para realizar ensayos de resistencia en flexión y del material restante se seleccionó madera sin defectos y se prepararon las probetas de acuerdo con la norma UNE-EN 383 (2007), para los ensayos de aplastamiento.

En total se elaboraron 343 probetas, 205 para ensayar en dirección paralela a las fibras y 138 en dirección perpendicular a las fibras. En ambos casos se utilizaron pasadores de acero con diámetros nominales 5, 6, 7, 8 y 10 mm, y también pasadores de 12 mm solo en los ensayos de dirección paralela a las fibras. La relación entre la medida nominal y la real de los pernos utilizados en los ensayos se indican en la Tabla 1.

	DIÁMETRO DE LOS PERNOS [mm]					
NOMINAL	5,00	6,00	7,00	8,00	10,00	12,00
REAL	5,07	5,96	6,82	7,96	9,92	11,93

Tabla 1. Diámetro de los pasadores – Valores nominales vs. reales

Las cantidades de probetas ensayadas para cada una de las direcciones y para cada uno de los diámetros y los espesores promedios de las mismas se presentan en la Tabla 2.

		DIÁMETRO DEL PERNO [mm]					
		5	6	7	8	10	12
PARALELA	ESPESOR MEDIO [mm]	23,37	24,45	23,5	23,42	23,36	22,33
	CANTIDAD	27	70	27	28	27	26
PERPENDICULAR	ESPESOR MEDIO [mm]	22,64	22,44	22,94	22,44	22,48	
	CANTIDAD	27	27	30	27	27	

Tabla 2. Cantidad de probetas y espesores medios en relación con los diámetros de los pasadores

Los orificios donde se colocaron los pasadores de acero para realizar el ensayo se efectuaron con una sobredimensión del diámetro de 0,25 mm respecto del nominal, en todos los casos. Se presentan en la Fig. 1 las dimensiones de las probetas en relación con el diámetro

del pasador para cada dirección ensayada, según lo establecido en la normativa de ensayo UNE-EN 383:2007.

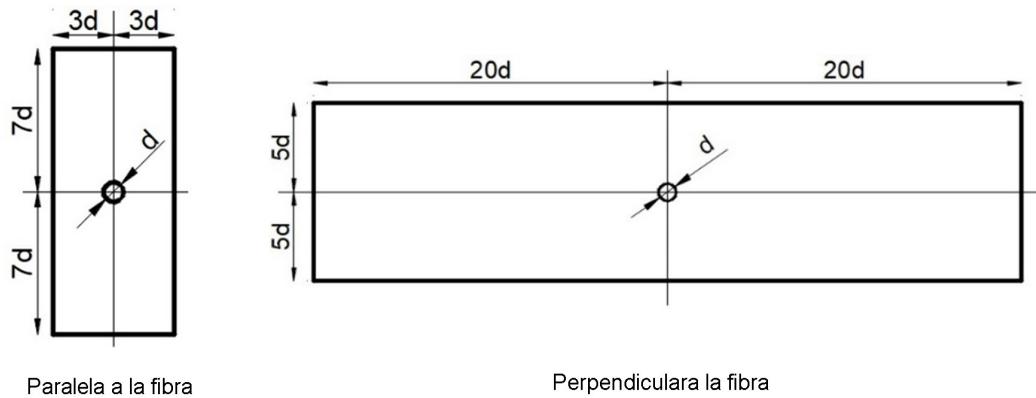


Fig. 1. Dimensiones genéricas de las probetas con relación al diámetro

En la Fig. 2 se puede apreciar el dispositivo de ensayo que incluye la celda de carga para medir la fuerza aplicada y los medidores lineales de desplazamiento para registrar la deformación.



Fig. 2. Dispositivo de ensayo. Dirección de ensayo paralelo a la fibra.

La carga se aplicó hasta alcanzar un valor aproximado al 40% de la carga máxima y se mantuvo durante 30 segundos, luego se disminuyó hasta alcanzar un valor aproximado al 10% de la carga máxima y se mantuvo durante 30 segundos y a continuación se aumentó hasta el valor máximo de rotura o una deformación máxima de 5 mm.

Se determinó el peso de la muestra húmeda y la muestra seca, utilizando una balanza de precisión con sensibilidad de 0,01 g.

Determinación de la resistencia al aplastamiento

La determinación de la resistencia al aplastamiento se realizó según lo establecido por la norma UNE-EN 383 (2007) según la expresión de la fórmula (1):

$$F_e = \frac{F_{m\acute{a}x}}{d \cdot t} \quad (1)$$

F_e : Resistencia al aplastamiento, en N/mm².

$F_{m\acute{a}x}$: Fuerza máxima correspondiente a la rotura o a 5 mm de deformación, en N

d : Diámetro del perno, en milímetros.

t : Espesor de la probeta, en milímetros.

Determinación de la densidad corregida al 12% de contenido de humedad

Se determinó la densidad de cada una de las muestras ensayadas y también el contenido de humedad, según lo establecido en la norma IRAM 9532 (1963). Para contenidos de humedad mayores al 12%, el valor de la densidad se disminuyó un 0,5% por cada variación del 1% del contenido de humedad, y para contenidos de humedad menores al 12%, el valor se aumentó un 0,5% por cada 1% de variación del contenido de humedad, según lo indicado en la norma IRAM 9664 (2013). La densidad corregida se obtuvo según la fórmula (2).

$$\delta = \delta u (1 - 0,005(u - u_{ref})) \quad (2)$$

Donde

δ : densidad corregida, en kg/m³.

δu : densidad en el momento del ensayo, en kg/m³

u : contenido de humedad en el momento del ensayo

u_{ref} : contenido de humedad de referencia, 12%.

Determinación de la densidad anhidra

El Reglamento CIRSOC 601 (2016) establece en el Suplemento 4 - S.4.1.1-2 la expresión para la determinación de la gravedad anhidra que se presenta en la fórmula (3).

$$G = \frac{G_{mc}}{(1 + mc) - 0,84 \cdot mc \cdot G_{mc}} \quad (3)$$

G : gravedad específica en el estado anhidro

G_{mc} : gravedad específica a un determinado contenido de humedad

mc : contenido de humedad expresado como cociente entre el peso del agua contenida y el peso anhidro

Esta expresión se utilizó para determinar la densidad anhidra al multiplicar el valor G obtenido por la densidad del agua.

3. Análisis de resultados

Determinación de la resistencia al aplastamiento

Se presentan en la Fig. 3 imágenes de probetas ensayadas en dirección paralela a la fibra, donde se puede apreciar la penetración de la clavija de acero en las fibras de la madera.

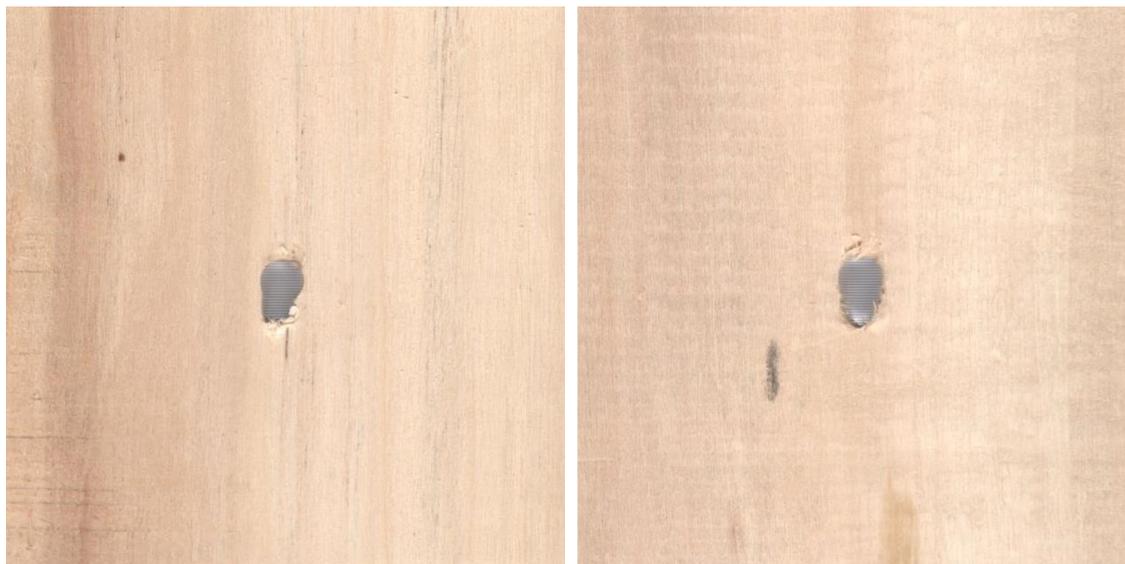


Fig. 3. Penetración del perno de acero en probetas ensayadas en dirección paralela a la fibra

En la Fig. 4 se presentan imágenes de probetas ensayadas en dirección perpendicular a la fibra. Se observa el aplastamiento de las fibras orientadas en dirección perpendicular al avance de la clavija de acero y fisuras muy marcadas en dirección diagonal.

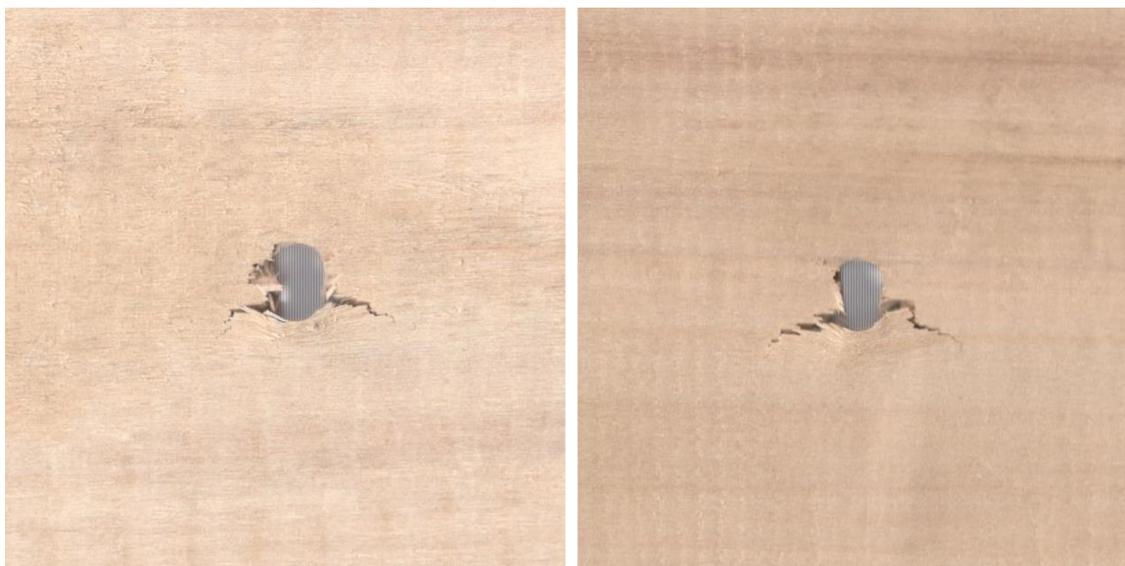


Fig. 4. Penetración del perno de acero en probetas ensayadas en dirección perpendicular a la fibra.
Aplastamiento de fibras y fisuras diagonales

Se presentan en la Tabla 3 los valores correspondientes a la resistencia al aplastamiento (F_e) para los diferentes diámetros de pernos, con la fuerza aplicada en dirección paralela a la fibra. Para cada diámetro se incluyen los valores mínimos, medios y máximos obtenidos, la desviación estándar, el coeficiente de variación (COV) y el valor del percentil 5% obtenido según lo indicado en la norma UNE-EN 14358 (2016).

PARÁMETROS	UNIDAD	DIÁMETRO DEL PERNO (mm)						PROMEDIO
		5	6	7	8	10	12	
MÍNIMO	N/mm ²	23,7	20,6	19,9	20,7	19,6	18,7	20,9
MEDIO	N/mm ²	28,5	26,7	24,6	25,6	23,4	25,2	25,8
MÁXIMO	N/mm ²	35,5	34,1	30,2	30,5	29,2	30,0	31,9
DESVIACIÓN	N/mm ²	3,5	3,4	2,8	2,4	2,7	2,7	3,0
COV	---	0,12	0,13	0,12	0,10	0,12	0,11	0,12
PERCENTIL 5%	N/mm ²	22,0	20,6	19,3	21,0	18,3	20,0	20,2

Tabla 3. Resistencia al aplastamiento F_e en dirección paralela a la fibra

El valor medio de F_e para todas las muestras ensayadas en dirección paralela a las fibras fue de 25,8 N/mm² y el valor del percentil 5% para todas las muestras de 19,9 N/mm².

En la Tabla 4 se muestran los valores correspondientes a la resistencia al aplastamiento con la aplicación de la carga en dirección perpendicular a la fibra.

PARÁMETROS	UNIDAD	DIÁMETRO DEL PERNO (mm)					PROMEDIO
		5	6	7	8	10	
MÍNIMO	N/mm ²	12,7	13,1	12,0	10,3	9,4	11,5
MEDIO	N/mm ²	19,9	18,7	18,0	16,1	14,3	17,4
MÁXIMO	N/mm ²	26,3	24,8	25,9	27,3	20,1	24,9
DESVIACIÓN	N/mm ²	3,4	3,3	3,6	3,6	2,8	3,3
COV	---	0,17	0,18	0,20	0,22	0,19	0,19
PERCENTIL 5%	N/mm ²	13,5	12,5	11,3	9,4	9,1	11,2

Tabla 4. Resistencia al aplastamiento F_e en dirección perpendicular a la fibra

El valor medio F_e para todas las muestras ensayadas en dirección perpendicular a las fibras fue de 17,4 N/mm² y el valor del percentil 5% para todas las muestras de 10,6 N/mm².

Al observar los resultados se aprecia que los valores de F_e son mayores en dirección paralela a la fibra respecto de los mismos valores en dirección perpendicular a la fibra.

Se presentan en la Fig. 5 los diagramas de cajas y bigotes correspondientes a los resultados de ensayos en dirección paralela y perpendicular a las fibras, para cada uno de los diámetros de pasadores.

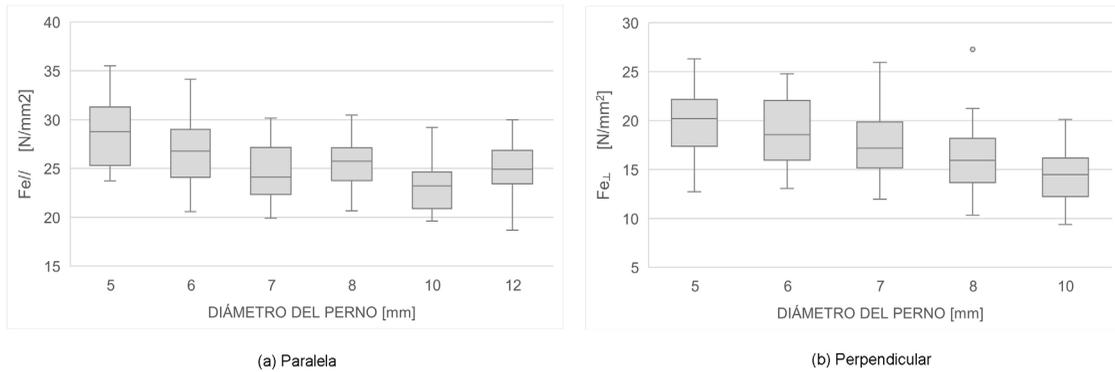


Fig. 5. Resistencia al aplastamiento F_e según la dirección de la fibra y el diámetro del perno

La relación porcentual entre los valores de la resistencia al aplastamiento F_e , percentil 5%, en dirección perpendicular y paralela a la fibra se presentan en la Tabla 5.

	UNIDAD	DIÁMETRO DEL PERNO (mm)					
		5	6	7	8	10	12
PARALELA	N/mm ²	22,0	20,6	19,3	21,0	18,3	20,0
PERPENDICULAR	N/mm ²	13,5	12,5	11,3	9,4	9,1	-----
RELACIÓN	%	61%	61%	59%	45%	50%	-----

Tabla 5. Relación entre los valores de la resistencia al aplastamiento F_e percentil 5% en dirección perpendicular y paralela a la fibra

Para apreciar la variación de los valores de resistencia con relación a los diámetros, tanto para la aplicación de la carga en dirección paralela como en dirección perpendicular a la fibra, se presentan los resultados en la Fig. 6, donde se grafican los valores del percentil 5% de la resistencia al aplastamiento.

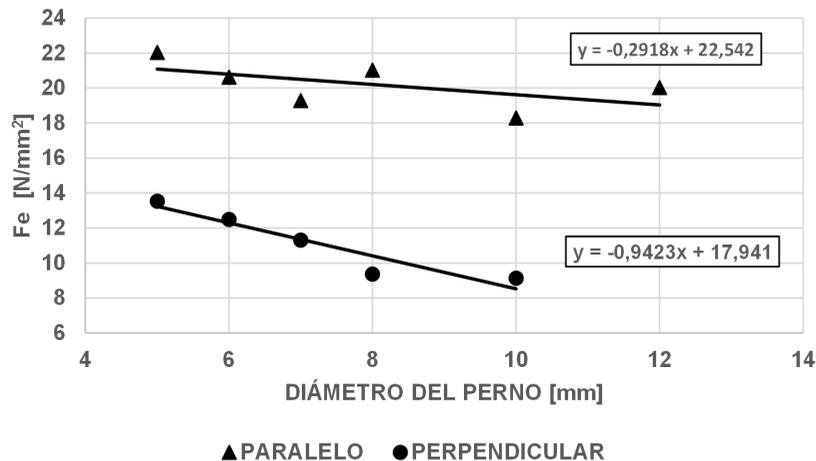


Fig. 6. Resistencia al aplastamiento $F_{e,0,05}$ en relación con el diámetro del perno

En ambos casos los valores de F_e disminuyen a medida que aumenta el diámetro de los pasadores, siendo esta disminución mayor en el caso de la dirección perpendicular a la fibra.

Sawata y Yasumura (2002) en su trabajo sobre *Picea jezoensis* y *Abies sachalinensis* madera de densidad media de 400 kg/m^3 y para diámetros de pasadores de 8, 12, 16 y 20 mm, expresan que, en ensayos realizados bajo norma EN 383 (1993), el valor de la resistencia paralela a la fibra es poco influenciado por el diámetro de la clavija, en tanto que, para la dirección perpendicular, se observa una disminución de la resistencia a medida que aumenta el diámetro.

Manavella *et al.* (2017) determinan la resistencia al aplastamiento en madera aserrada de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' en ambas direcciones, para diámetros de pasadores 5, 6, 7, 8 y 10 mm, y obtienen resultados similares respecto de la disminución de los valores de la resistencia F_e a medida que aumenta el diámetro de los pasadores.

Se presentan en la Fig. 7 la variación de la resistencia al aplastamiento en relación con el diámetro de la clavija, en dirección paralela y perpendicular a la fibra. En los gráficos de las figuras se han suprimido los valores correspondientes al instante del ensayo en el cual se disminuye la carga hasta un valor aproximado al 10% de la carga máxima y se mantiene durante un tiempo de 30 s, para continuar posteriormente aumentando la carga hasta el valor máximo. Solo se incluyen los valores correspondientes a la resistencia al aplastamiento y desplazamientos del perno correspondiente a la carga creciente.

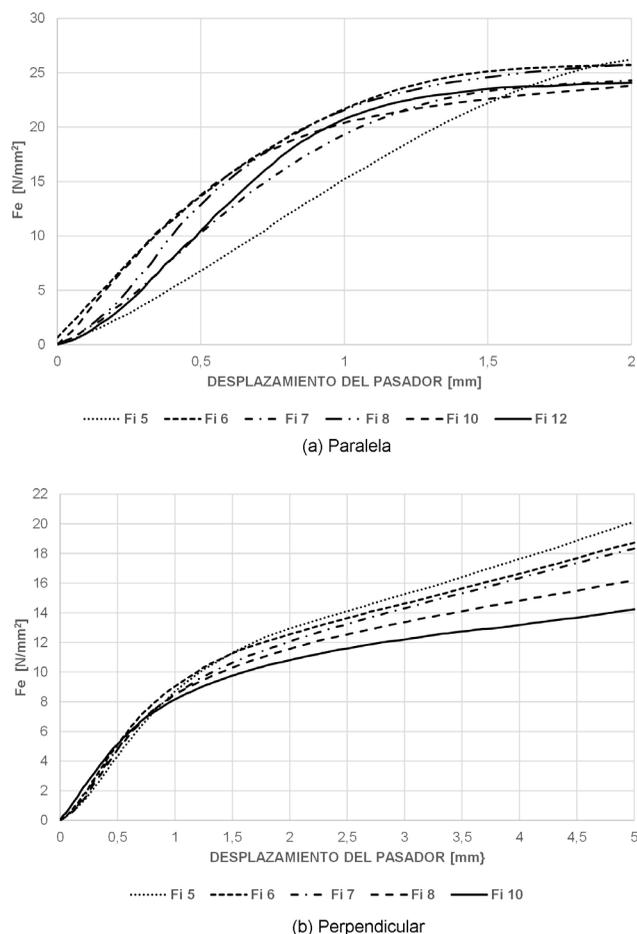


Fig. 7. Variación de la resistencia al aplastamiento F_e en relación con el diámetro del pasador en dirección (a) paralela a la fibra y (b) perpendicular a la fibra

Se observa que para la dirección paralela no se manifiestan variaciones significativas en la resistencia al aplastamiento última para los diámetros comprendidos entre 5 y 12 mm. En el caso del pasador de 5 mm la pendiente de la curva que está dada por el cociente entre la resistencia al aplastamiento y el desplazamiento del pasador, es menor que para el resto de los pasadores en la dirección paralela a la fibra.

Para la dirección perpendicular a la fibra, los valores últimos de la resistencia F_e son menores a medida que aumenta el diámetro del pasador.

Se presentan en la Tabla 6 los valores de la densidad corregida al 12% de las probetas ensayadas en dirección paralela a las fibras y en la Tabla 7 los valores correspondientes a las probetas ensayadas en dirección perpendicular a las fibras. El valor del percentil 5% se calcula según lo indicado en la norma UNE-EN 14358 (2016).

PARÁMETROS	UNIDAD	DIÁMETRO DEL PERNO (mm)						PROMEDIO
		5	6	7	8	10	12	
MÍNIMO	kg/m ³	368	340	379	386	382	357	371
MEDIO	kg/m ³	413	395	427	424	434	412	419
MÁXIMO	kg/m ³	462	441	485	460	513	464	472
DESVIACIÓN	kg/m ³	23	25	28	21	32	27	26
COV	---	0,06	0,06	0,07	0,05	0,07	0,06	0,06
PERCENTIL 5%	kg/m ³	370	350	375	384	375	362	371

Tabla 6. Densidad corregida al 12% de probetas utilizadas en ensayos en dirección paralela a la fibra

PARÁMETROS	UNIDAD	DIÁMETRO DEL PERNO (mm)					PROMEDIO
		5	6	7	8	10	
MÍNIMO	kg/m ³	344	357	358	352	340	350
MEDIO	kg/m ³	390	393	402	396	392	395
MÁXIMO	kg/m ³	430	428	439	461	457	443
DESVIACIÓN	kg/m ³	24	20	24	25	26	24
COV	---	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06
PERCENTIL 5%	kg/m ³	346	355	358	350	344	350

Tabla 7. Densidad corregida al 12% de probetas utilizadas en ensayos en dirección perpendicular a la fibra

El promedio del valor medio de todas las muestras utilizadas en los ensayos, tanto en dirección paralela como en dirección perpendicular a las fibras (343 cuerpos de prueba), resulta de 406 kg/m³ y el valor del percentil 5% para la misma condición es de 355 kg/m³.

Se presentan en la Tabla 8 los valores correspondientes a la determinación de la densidad anhidra de las muestras ensayadas en dirección paralela a la fibra y en la Tabla 9 los correspondientes a la determinación de la densidad anhidra para las muestras ensayadas en dirección perpendicular a la fibra.

PARÁMETROS	UNIDAD	DIÁMETRO DEL PERNO (mm)						PROMEDIO
		5	6	7	8	10	12	
MÍNIMO	kg/m ³	339	314	353	359	355	332	344
MEDIO	kg/m ³	385	368	398	396	405	384	390
MÁXIMO	kg/m ³	432	412	454	430	481	433	442
DESVIACIÓN	kg/m ³	22	24	27	21	30	25	25
COV	---	0,06	0,07	0,07	0,05	0,08	0,07	0,06
PERCENTIL 5%	kg/m ³	344	324	349	357	348	336	344

Tabla 8. Densidad anhidra de probetas utilizadas en ensayos en dirección paralela a la fibra

PARÁMETROS	UNIDAD	DIÁMETRO DEL PERNO (mm)					PROMEDIO
		5	6	7	8	10	
MÍNIMO	kg/m ³	319	332	334	326	316	325
MEDIO	kg/m ³	363	365	375	369	366	367
MÁXIMO	kg/m ³	401	399	410	431	427	413
DESVIACIÓN	kg/m ³	23	19	22	24	25	23
COV	---	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06
PERCENTIL 5%	kg/m ³	320	329	333	324	319	325

Tabla 9. Densidad anhidra de probetas utilizadas en ensayos en dirección perpendicular a la fibra

El valor medio de la densidad anhidra determinado para los 343 cuerpos de prueba resulta de 377 kg/m³ y el valor del percentil 5% para todas las muestras determinado según lo establecido en la norma UNE-EN 14358 (2016) resulta de 328 kg/m³.

La relación entre el valor de la resistencia al aplastamiento y la densidad anhidra se presenta en la Fig. 8, donde se aprecia que tanto para el caso de los resultados obtenidos en dirección paralela a la fibra como los correspondientes a la dirección perpendicular a la fibra, la resistencia aumenta a medida que aumenta el valor de la densidad.

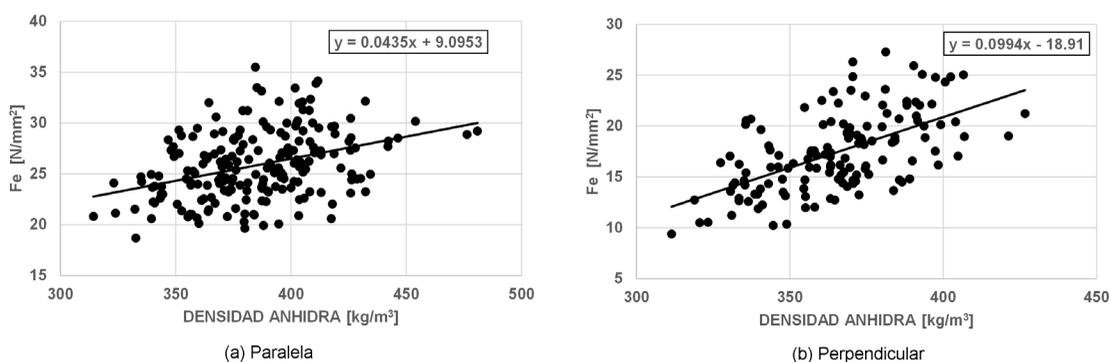


Fig. 8. Correlación Resistencia al aplastamiento F_e vs. Densidad anhidra

Comparación de los resultados obtenidos de ensayo con los de referencia según CIRSOC 601

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601(2016) incluye en el Suplemento 4 la Tabla S.4.1.1-1. de la cual se obtienen los valores de la resistencia al aplastamiento de referencia de la madera F_e en N/mm^2 , para uniones con elementos de fijación tipo clavija sometidas a carga lateral, en relación al valor característico 5% de la gravedad específica anhidra.

El valor de la gravedad anhidra percentil 5% para el álamo, *Populus x canadensis* 'Conti 12' resultó de 0,328, para todas las muestras utilizadas en los ensayos. Se presentan en la Tabla 10 los valores obtenidos de F_e , interpolando entre los valores de gravedad anhidra 0,320 y 0,330 que figuran en la Tabla S.4.1.1-1.

	RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO F_e [N/mm^2]						
	F_e	$F_e //$	$F_e \perp$				
	D < 6,35	D ≥ 6,35	6,35	7,94	9,53	11,11	12,7
0,330	14,9	25,5	16,9	15,1	13,8	12,7	11,9
0,328	14,3	24,9	16,3	14,6	13,4	12,4	11,6
0,320	14,1	24,7	16,1	14,4	13,2	12,2	11,4

Tabla 10. Resistencia al aplastamiento en N/mm^2 según la Tabla S.4.1.1-1 (CIRSOC 601 (2016))

En la primera columna (F_e) se indican los valores correspondientes a la tensión de aplastamiento para diámetros de pasador menores a 6,35 mm, independientemente a la dirección de las fibras. En la segunda columna ($F_e //$) se indican los valores de la tensión de aplastamiento para pasadores mayores a 6,35 mm en dirección paralela a la fibra. En el resto de las columnas ($F_e \perp$) se indican los valores de aplastamiento para pasadores en dirección perpendicular a la fibra y según el diámetro del pasador, para valores entre 6,35 mm y 12,7 mm.

Los valores de resistencia al aplastamiento incluidos en la Tabla S.4.1.1-1 corresponden a una duración de la carga de 10 años. Para poder comparar los valores obtenidos de los ensayos con los correspondientes a la tabla mencionada, es necesario corregir los mismos dividiendo por el valor 1,6, debido a que el ensayo se realiza en un tiempo de 10 minutos. De aquí en adelante se analizan los resultados de ensayo ajustados de este modo.

Se presenta en la Tabla 11 una comparación de los valores obtenidos de la Tabla 10 para la densidad anhidra 0,328, con los obtenidos de los ensayos ajustados a la duración de 10 años.

	RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO F_e [N/mm^2]				
	F_e	$F_e //$	$F_e \perp$		
	D < 6,35	D ≥ 6,35	6,35	7,94	9,53
Tabla S.4.1.1-1	14,3	24,9	16,3	14,6	13,4
Ensayos	9,5	12,3	7,1	5,8	5,7
Relación [%]	67%	49%	43%	40%	43%

Tabla 11. Comparación de la tensión de aplastamiento según la Tabla S.4.1.1-1 (CIRSOC 601 (2016)) y los resultados de ensayos

Para diámetros de pasadores mayores e iguales a 6,35 mm ($D \geq 6,35$), la tensión de aplastamiento paralelo a la fibra ($F_{e//}$) se obtuvo como el valor del percentil 5% de los resultados de ensayo corregidos para los diámetros 7 mm, 8 mm, 10 mm y 12 mm, y es solo un 49% del valor propuesto en el reglamento. Mientras que los valores $F_{e\perp}$ perpendiculares a las fibras ($F_{e\perp}$) corresponden al valor del percentil 5% de los resultados obtenidos de ensayos, según la siguiente descripción: el pasador de diámetro nominal 7 mm para la columna de 6,35 mm, el de 8 mm para el caso de 7,94 mm y el de 10 mm para el caso de 9,53 mm. En todos los casos los valores obtenidos son menores que los que se obtienen del reglamento.

Para los diámetros de pasadores menores a 6,35 mm, la Tabla S.4.1.1-1 del Suplemento 4 del CIRSOC 601 (2016) propone un solo valor para cada valor de densidad anhidra sin distinguir por la dirección de la fibra. F_e de ensayos para $D < 6,35$, se obtuvo como el valor del percentil 5% de todos los valores corregidos para los diámetros de 5 mm y 6 mm, tanto en dirección paralela como en dirección perpendicular a la fibra, y resultó un 67% del valor propuesto en el reglamento.

Analizando los valores de ensayos para los diámetros de 5 mm y 6 mm en forma independiente para ambas direcciones de las fibras, se obtuvo en dirección paralela un valor corregido de 13,1 N/mm², que resultó un 92% del valor 14,3 N/mm² de tabla, mientras que en dirección perpendicular a la fibra el valor corregido resultó 8,23 N/mm², un 58% del valor de tabla. Relacionando ambos valores, F_e en dirección perpendicular a la fibra resultó un 63% del valor correspondiente a la dirección paralela.

Manavella R. D. *et al.* (2017) presentaron resultados de ensayos en madera de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60', con un valor gravedad anhidra percentil 5% de 0,329, donde compararon valores percentil 5% de F_e , corregidos para 10 años, con los propuestos en el CIRSOC 601 (2016). Para diámetros mayores a 6,35 mm y en la dirección perpendicular a la fibra los resultados de ensayos resultaron entre un 51% y un 58% menores a los de reglamento, y en dirección paralela a la fibra, entre un 49% y un 62%. Para el caso de diámetros menores a 6,35 mm, para pasadores de 5 y 6 mm y en dirección paralela a la fibra, resultaron entre un 98% y 92% de los valores propuestos en el reglamento mientras que para la dirección perpendicular a la fibra, éstos resultaron un 73% y un 51%, respectivamente. Estos resultados siguen la tendencia de los valores obtenidos en este trabajo.

Se puede comprobar en la Tabla 11 que en todos los casos los valores obtenidos en los ensayos resultan significativamente menores que los de referencia indicados en el Suplemento 4 del CIRSOC 601 (2016), por lo que emerge la necesidad de ampliar la base estadística a través de la realización de nuevos ensayos.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos realizados según la norma UNE-EN 383 (2007) sobre madera aserrada de *Populus x canadensis* 'Conti 12' con pasadores de 5, 6, 7, 8, 10 y 12 mm de diámetro demuestran que la resistencia al aplastamiento en dirección paralela a las fibras es significativamente mayor que la correspondiente al valor en dirección perpendicular a las fibras. El valor del percentil 5% determinado según la norma UNE-EN 14358 (2016) de la resistencia en dirección perpendicular para todas las probetas ensayadas de 10,6 N/mm², resulta solo el 53% de la resistencia en dirección paralela de 19,9 N/mm². Los valores de la resistencia al aplastamiento disminuyen a medida que aumenta el diámetro del pasador, en ambas direcciones, siendo esta variación mayor en el caso de la

dirección perpendicular a la fibra.

El promedio del valor medio de la densidad de la madera corregida al 12% de contenido de humedad de todas las muestras utilizadas en los ensayos resultó de 406 kg/m³ y el valor del percentil 5% de la densidad anhidra resultó de 328 kg/m³. La resistencia al aplastamiento tanto en dirección paralela como perpendicular a las fibras aumenta a medida que aumenta la densidad.

Los valores de la resistencia al aplastamiento obtenidos de ensayos para un valor de gravedad anhidra de 0,328, correspondiente al 'Conti 12', para los diferentes diámetros de pasadores y direcciones de las fibras, alcanzan entre un 67% y un 40% de los indicados en la Tabla S.4.1.1-1 del Suplemento 4 del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 (2016).

5. AGRADECIMIENTOS

A los alumnos, becarios y graduados de Ingeniería Civil de la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional que participaron activamente en el grupo GEDEC, colaborando con los ensayos.

Referencias

- CIRSOC 601. (2016). *“Reglamento Argentino de Estructuras de Madera”*. Buenos Aires: INTI.
- dos Santos, C. L., de Jesus, A. M., & Morais, J. J. (2015). “Embedment strength characterization of pine Wood. Numerical study of the non-linear behaviour”. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, 27, 15-26.
- Glišović, I., Stevanović, B., & Kočetov-Mišulić, T. (2012). “Embedment test of wood for dowel-type”. *Wood Research*, 57(4), 639-650.
- Hübner, U. (2008). “Embedding strength of European hardwoods”. St. Andrews-by-the-sea, Canadá: Universität Karlsruhe.
- IRAM 9532. (1963). *“Maderas. Método de determinación de la humedad”*. Buenos Aires: IRAM.
- IRAM 9664. (2013). *“Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad”*. Buenos Aires: IRAM.
- Manavella, R. D., Guillaumet, A. A., & Filippetti, M. C. (2012). “Determinación de la resistencia al aplastamiento en madera de híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para uniones tipo clavija”. *22 Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural*. Buenos Aires: AIE.
- Manavella, R. D., Guillaumet, A. A., & Filippetti, M. C. (2014). “Determinación de la Resistencia al Aplastamiento en Madera de Híbrido *Pinus Elliottii* var. *Elliottii* x *Pinus Caribaea* var. *Hondurensis* para Uniones Tipo Clavija”. *Revista Tecnología y Ciencia*(26), 41-49.
- Manavella, R. D., Guillaumet, A. A., Filippetti, M. C., & Tortoriello, M. (2014). Determinación de la resistencia al aplastamiento en madera de álamo para uniones tipo clavija. *XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*. Montevideo - Uruguay.
- Manavella, R. D., Guillaumet, A. A., Mossre, C. A., & Arrien, P. (2017). “Determinación de la resistencia al aplastamiento en madera de *Populus deltoides* ‘Australiano 129/60’, comparación con los valores dados por el CIRSOC 601”. *CLEM + CIMAD* (págs. 144-155). Junín, Argentina: UNNOBA.
- NDS American Wood Council. (2005). *“National Design Specification for Wood Construcción”*. Leesburg, Virginia: AWC.
- Sawata, K., & Yasumura, M. (2002). “Determination of embedding strenght of good for dowel-type fasteners”. *Journal of Wood Science*, 48, 138-146.
- Sosa Zitto, A., Köhler, J., & Piter, J. (2012). “Embedding strength in joints of fast-growing Argentinean *Eucalyptus grandis* with dowel-type fasteners. Analysis according to the criterion adopted by European standards”. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70, 433-440.
- UNE-EN 14358. (2016). *“Estructuras de madera - Determinación y verificación de los valores característicos”*. AENOR.
- UNE-EN 383. (2007). *“Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija”*. AENOR.
- van Blokland, J., Florisson, S., Schweigler, M., Ekevid, T., Bader, T. k., & Adamopoulos, S. (2021). “Embedment properties of thermally modified spruce timber with dowel-type fasteners”. *Construction and Building Materials*, 313, 1-13.