

# PROPIEDADES RESISTENTES EN COMPRESIÓN PARALELA DE LA MADERA *POPULUS DELTOIDES* CULTIVADO EN EL DELTA DEL RIO PARANÁ

## STRENGTH PROPERTIES IN PARALLEL COMPRESSION OF THE WOOD *POPULUS DELTOIDES* CULTIVATED IN THE DELTA OF THE PARANA RIVER

Alfredo A. Guillaumet <sup>(1)</sup> (P), María C. Filippetti <sup>(2)</sup>, Roberto D. Manavella <sup>(1)</sup>, Luis Acuña Rello <sup>(3)</sup>, Juan C. Piter <sup>(4)</sup>

(1) Ing., Profesor Titular, Investigador, Universidad Tecnológica Nacional FR Venado Tuerto, Argentina

(2) Ing., Profesor Adjunto, Investigador, Universidad Tecnológica Nacional FR Venado Tuerto, Argentina

(3) Dr. Ing., Profesor Titular, Investigador, Universidad de Valladolid, España

(4) Dr. Ing., Profesor Titular, Investigador, Universidad Tecnológica Nacional FR C. del Uruguay, Argentina

Dirección de contacto: aaguillaumet@rec.utn.edu.ar; (P) Presentador

### Código de identificación: T3-13

#### Resumen

En Argentina se encuentran edificios con estructura de madera, construidas generalmente con especies de alta densidad, resistencia y durabilidad. La protección del bosque nativo estimuló la utilización de madera con baja densidad proveniente de bosques implantados. Sin embargo, la falta de información sobre su comportamiento mecánico genera incertidumbre y demanda una importante tarea de caracterización. A modo de ejemplo, en los suplementos del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera [1], se proveen valores de las propiedades para solo cuatro especies cultivadas en el país: *Pinustaeda/elliottii*, *Eucalyptusgrandis*, *Araucaria angustifolia* y *Populus deltoides*. Las propiedades resistentes y elásticas propuestas, en la mayoría de los casos, fueron determinadas en ensayos a flexión y luego con las expresiones de la norma UNE-EN 384 [2] se determinaron los valores para el resto de los esfuerzos. Con el fin de verificar la aplicabilidad de la expresión de la norma [2], se determina la resistencia a la compresión paralela en 100 probetas de *Populus deltoides*, 51 del clon 'Australiano 129/60' y 49 del clon 'Stoneville 67', provenientes del delta del río Paraná. Los ensayos se realizaron según la norma UNE-EN 408 [3] y la clasificación visual de acuerdo a la norma IRAM 9662/4 [4]. Los resultados experimentales de resistencia a la compresión paralela resultan superiores a los que surgen de aplicar la expresión de la norma [2].

**Palabras clave:** *Populus deltoides*; clasificación visual estructural; compresión paralela; álamo

#### Abstract

*In Argentina are buildings with a wooden structure, generally constructed with species of high density, strength and durability. The protection of the native forest stimulated the use of wood with low density from implanted forests. However, the lack of information about its mechanical behavior generates uncertainty and demands an important task of characterization. As an example, in the supplements of the Argentinean design code of Wood Structures [1], property values are provided for only four species cultivated in the country: Pinustaeda / elliottii, Eucalyptus grandis, Araucaria angustifolia and Populus deltoides. The proposed resilient and elastic properties, in most cases, were determined in flexural tests and then with the expressions of norm UNE-EN 384 [2], the values for rest of the efforts were determined. In order to verify the applicability of the expression of the norm [2], the resistance to parallel compression is determined in 100 test pieces of Populus deltoides, 51 of the clone 'Australian 129/60 'and 49 of the clone Stoneville 67', coming from of the Paraná River Delta. The tests were conducted according to the UNE-EN 408 [3] and the visual classification according to IRAM 9662/4 [4]. The experimental results of resistance to parallel compression are superior to those that arise from applying the expression of the norm [2].*

**Keywords:** *Populus deltoides*; structural visual classification; parallel compression; poplar

## 1. INTRODUCCIÓN

En Argentina la reciente aprobación del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera, [1], las normas de fabricación para las vigas laminadas encoladas, IRAM 9660 y 9661 [5, 6 y 7], y las normas de clasificación visual resistente, IRAM 9662 [4, 8, 9 y 10], todas ellas desarrolladas en los últimos 10 años, muestran el avance del conocimiento de las propiedades estructurales de la madera proveniente de bosques implantados y presentan un panorama esperanzador en cuanto al incremento de su uso en la industria de la construcción.

El álamo se inserta en la familia de las salicáceas y constituye el tercer cultivo forestal en importancia en Argentina, siendo precedido por los pinos y eucaliptus. Se estima en más de 80.000 las hectáreas forestadas en el delta del río Paraná y entre los muchos clones que se cultivan prevalecen el 'Australiano 129/60' y el 'Stoneville 67'.

La Norma IRAM 9662/4 [4] presenta un sistema de clasificación visual resistente para tablas aserradas de *Populus deltoides*, clones 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67', cultivado en el delta del Río Paraná. Esta norma se construyó en base a ensayos de flexión realizados de acuerdo a la norma UNE-EN 408 [3]. La información sobre el comportamiento a flexión de los álamos del delta se completa con distintas publicaciones [11, 12, 13, 14 y 15]. Se han publicado resultados de ensayos que determinaron las tensiones de aplastamiento para uniones tipo clavija en madera del clon 'Australiano 129/60' [16 y 17], pero no hay publicaciones, para clones de esta procedencia, que presenten resultados de ensayos con otras solicitaciones.

Resulta de interés para el cálculo estructural conocer el comportamiento en compresión paralela a las fibras de la madera de *Populus deltoides* de esta procedencia. Edlun [18] describe el proceso de rotura a la compresión paralela como la falla a pandeo de una hilera de fibras, un modo de inestabilidad local con una cizalladura a lo largo de un plano inclinado. Especifica también que las muestras deben ser lo suficientemente cortas para evitar el pandeo general de toda la pieza. La norma UNE-EN 408:2011 [3] fija una relación de 6 entre el largo de la pieza y la menor dimensión de la misma. La rotura se produce en forma más dúctil que en el esfuerzo de tracción.

Los valores de resistencia a la compresión paralela para los clones de álamo presentados en los suplementos del CIRSOC 601 [1] corresponden a determinaciones realizadas en base a las expresiones propuestas en la norma UNE-EN 384:2010 [2], a partir de la resistencia a la flexión. La norma IRAM 9664:2013 [19] presenta una expresión similar a la de la norma UNE-EN 384:2010 [2] para determinar la resistencia a la compresión paralela a partir de la resistencia característica en flexión. Considerando que la expresión de la norma [2] para determinar la resistencia a la compresión paralela es común para todas las especies, y que la misma norma [2] aclara que es de aplicación en el caso de no contarse con ensayos de probetas de dimensiones reales de uso, resulta importante para disminuir incertezas en los valores del reglamento [1] realizar los ensayos que permitan verificar la precisión de los valores determinados por la expresión de la norma [2].

El objetivo de este trabajo es determinar la resistencia a la compresión paralela a las fibras y el módulo de elasticidad para los grados resistentes definidos en la norma IRAM [4], en madera de *Populus deltoides*, clones 'Australiano 129/90' y 'Stoneville 67' mediante ensayos realizados según la norma UNE-EN 408:2011 [3] y comparar los resultados experimentales con los calculados por la aplicación de la norma UNE-EN 384:2010 [2] sobre las propiedades en flexión del mismo lote de madera publicadas en el año 2016 [14].

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1 Material

El material experimental se seleccionó al azar de la producción de madera aserrada proveniente de dos plantaciones de *Populus deltoides*, una del clon 'Australiano 129/60' y una del clon 'Stoneville

67', de 13 años y 16 años respetivamente al momento de la tala, radicadas en el delta del río Paraná. En ambos cultivos, las prácticas silviculturales y las edades de corte fueron representativas de la población a analizar. Luego de secadas, las piezas fueron trasladadas al Laboratorio de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional. La madera se entregó aserrada en vigas de distintas escuadrías. En primer lugar se ensayaron las vigas a flexión, los resultados fueron publicados en el año 2016 [14] y luego de los despuntes, fuera de la luz de flexión, se aserraron las probetas para el ensayo a la compresión paralela. De acuerdo a las proporciones que establece la norma UNE-EN 408:2011 [3] se confeccionaron probetas de sección cuadrada de 45 mm de lado y 270 mm de largo. Se mecanizaron 49 probetas del clon 'Australiano 129/60' y 51 del clon 'Stoneville 67', se seleccionaron de manera tal que mayoritariamente cumplen con los requisitos de los grados 1 y 2 de la norma [4]. Las probetas se colocaron en una cámara a una temperatura de  $20 \pm 2$  °C y una humedad relativa ambiente de  $65 \pm 5$  % hasta el momento del ensayo. No se consideraron piezas que presentaran ataque de insectos.

## 2.2 Método

El procedimiento de ensayo se realizó de acuerdo a las prescripciones de la norma UNE-EN 408:2011 [3]. El mismo procedimiento es el descrito en la norma IRAM 9663:2013 [20]. De cada probeta se determinaron las dimensiones previas al ensayo con una precisión de 0,1 mm utilizando un calibre digital. Se verificó que las testas estuvieran bien mecanizadas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje de la probeta. Como las probetas presentaban distintos defectos, se relevaron los mismos de acuerdo a las prescripciones de la norma IRAM 9662/4 [4].

La carga se aplicó con un equipo hidráulico a una velocidad constante de 0,7 mm/minuto, inferior a  $0,00005 \times 270$  que es la máxima que prescribe la norma. Se aseguró que la probeta estuviera perfectamente centrada con el cilindro de carga y alineada con el mismo, para posicionar cada probeta se utilizaron dos niveles láser ubicados a 90° entre sí. Entre la celda de carga y el dispositivo de contacto con la probeta se interpuso una rótula. Las cargas se midieron con una celda de cargas de precisión 10 N y carga máxima 250 kN. Las deformaciones se midieron sobre el tramo central de la probeta en una longitud de 180 mm, equivalente a cuatro veces la menor dimensión de la probeta, a través de dos comparadores Mitutoyo de precisión 0,001 mm y carrera máxima de 12 mm, dispuestos simétricamente como se muestra en la figura 1.



Figura 1: probeta en posición de ensayo

Se tomó lectura de carga y deformación cada 5.000 N, se completaron 7 lecturas para cada probeta. Las lecturas de carga y deformación se realizaron a través de tres cámaras web, una para cada comparador y una para el lector de la celda de cargas. Se utilizó el software Cerberus para la visualización simultánea en pantalla de las tres cámaras. Con un capturador de pantalla se almacenó la imagen de cada escalón de carga. En la pantalla se mostraba también el tiempo de ensayo. Con las imágenes se ingresaron manualmente los datos a una planilla de cálculo para su procesamiento previo y finalmente se realizó el análisis estadístico con un software específico. La figura 2 muestra la vista de la pantalla en el momento de la captura de datos.



Figura 2: Pantalla de lectura de cargas y deformaciones

La determinación de la humedad y de la densidad de cada probeta se realizó en base a los lineamientos de las normas ISO 3130 (1975) [21] e ISO 3131 (1975) [22].

Para la determinación del módulo de elasticidad  $E_{c,0}$  se seleccionan los datos que presentaron, entre la carga y la deformación, una correlación superior a 0,99. Para la determinación del módulo de elasticidad se utilizó la expresión 1.

$$E_{c,0} = \frac{l_1(F_2 - F_1)}{A(w_2 - w_1)} \quad (1)$$

$F_2 - F_1$  es un incremento de carga en la parte recta de la curva carga-deformación en newtons.

$w_2 - w_1$  es el incremento de deformación correspondiente a  $F_2 - F_1$  en milímetros.

$l_1$  es la longitud de la base de medida de las deformaciones en milímetros.

$A$  es el área de la sección transversal en milímetros cuadrados.

La fuerza máxima se alcanzó en un tiempo de  $300 \text{ s} \pm 120 \text{ s}$ . Para la determinación de la resistencia a la compresión ( $f_{c,0}$ ) se utilizó la expresión 2.

$$f_{c,0} = \frac{F_{\text{máx}}}{A} \quad (2)$$

$F_{\text{máx}}$  es la carga máxima en newtons.

$A$  es el área de la sección transversal en milímetros cuadrados.



La norma UNE-EN 384 [2] propone expresiones para determinar, a partir de la resistencia característica en flexión ( $f_{m,k}$ ), los valores para la resistencia ante los distintos esfuerzos, en el caso de la resistencia a la compresión paralela a las fibras ( $f_{c,0}$ ), propone la expresión 3.

$$f_{c,0} = (f_{m,k})^{0,45} \times 5 \quad (3)$$

$f_{m,k}$  es la resistencia característica en flexión, en  $N/mm^2$

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la figura 3 se muestra la rotura de cuatro de las probetas. Las figuras “3a” y “3b” presentan la rotura a partir de un nudo, mientras que las figuras “3c” y “3d” corresponden a piezas sin defectos. En la figura “3d” se aprecia claramente el plano inclinado de corte [18].

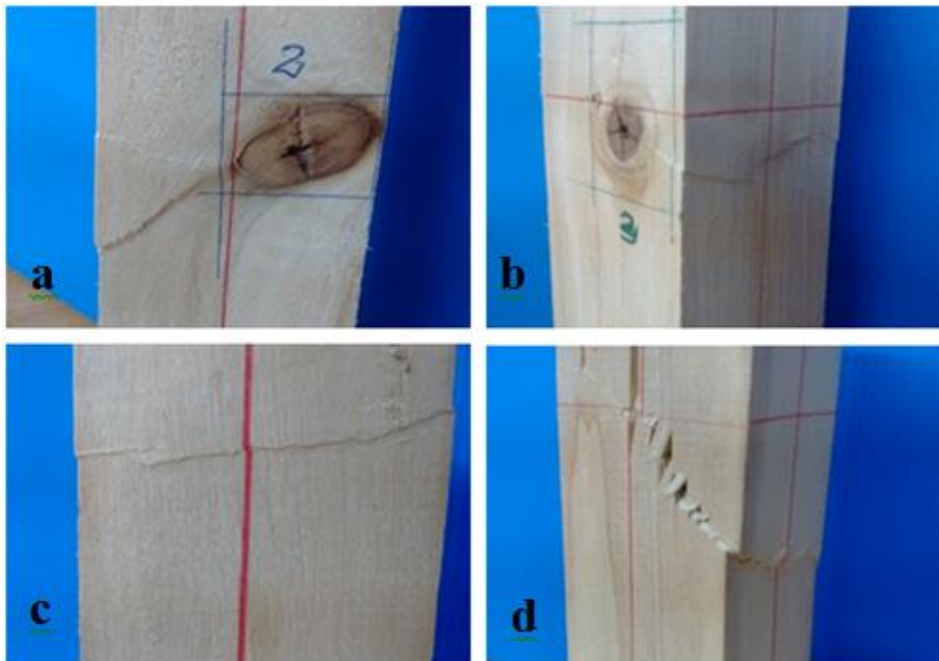


Figura 3: Líneas de rotura de cuatro probetas

#### 3.1 Análisis por clon

En la tabla 1 se presenta el análisis estadístico de los valores de resistencia a la compresión paralela a las fibras ( $f_{c,0}$ ) ajustada a la humedad de referencia del 12%, por clon y en conjunto.

Tabla 1: Resistencia a la compresión paralela a la fibra por clon ( $N/mm^2$ )

Clon	Mínimo	Medio	Máximo	Percentil 5%	Desvío	COV	n
Australiano 129/60	23,4	30,0	35,1	24,6	3,2	10,7	51
Stoneville 67	24,7	35,0	46,8	25,7	5,4	15,4	49
Todas	23,4	32,5	46,8	25,2	5,0	15,5	100

Del análisis estadístico comparativo entre ambos clones surge un P-valor=0,000, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia a la compresión paralela ( $f_{c,0}$ ) entre ambos clones, aunque la diferencia entre los valores del percentil 5% es del orden del 4%. Esta situación difiere de la encontrada en la resistencia a flexión [14] donde no se

presentaba una diferencia significativa entre ambos clones. Se debe considerar que se evalúa toda la población sin considerar las diferencias que pueden ocasionar los grados de calidad. La figura 4 presenta el gráfico de caja y bigotes de ambas poblaciones

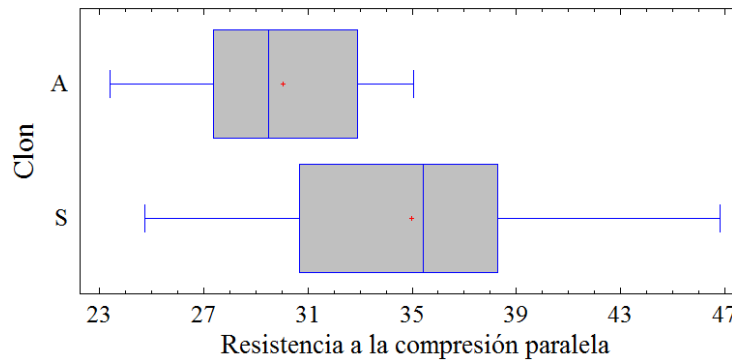


Figura 4: Resistencia a la compresión paralela por clon(N/mm<sup>2</sup>)

En la tabla 2 se presentan los valores estadísticos del módulo de elasticidad obtenidos en los ensayos de compresión paralela a las fibras ajustados a la humedad de referencia del 12%, por clon y en conjunto.

Tabla 2: Módulo de elasticidad en compresión paralela por clon(N/mm<sup>2</sup>)

Clon	Mínimo	Medio	Máximo	Percentil 5%	Desvío	COV	n
Australiano 129/60	5.070	9.267	14.626	6.238	1.855	20,0	51
Stoneville 67	6.530	11.687	15.782	7.559	2337	20,0	49
Todas	5.070	10.452	15.782	6.544	2.422	23,2	100

Del análisis estadístico comparativo entre ambos clones se obtiene un P-valor=0,000, lo que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa en el módulo de elasticidad a la compresión paralela entre ambos clones, con una diferencia entre los valores medios del orden del 25%. Esta diferencia es mayor que la encontrada en los ensayos a flexión entre ambos clones [14]. Se debe considerar que se evalúa toda la población sin considerar las diferencias que pueden ocasionar los grados de calidad. La figura 5 presenta el gráfico de caja y bigotes de ambas poblaciones.

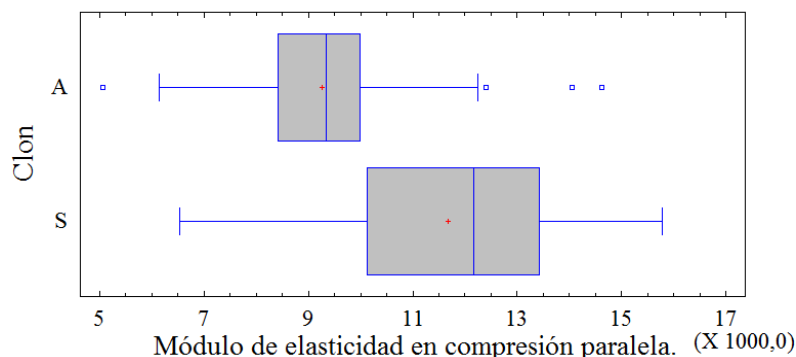


Figura 5: Módulo de elasticidad en compresión paralela por clon(N/mm<sup>2</sup>)

En la tabla 3 se presentan los valores estadísticos de densidad, ajustados a la humedad de referencia del 12%, obtenidos en las probetas sobre las que se realizaron los ensayos de compresión paralela a las fibras, divididos por clon y en conjunto.

Tabla 3: Densidad por clon(Kg/m<sup>3</sup>).

Clon	Mínimo	Medio	Máximo	Percentil 5%	Desvío	COV	n
Australiano 129/60	332	383	450	336	23,6	6,2	51
Stoneville 67	395	468	554	399	43,5	9,3	49
Todas	332	425	554	353	55,1	13,0	100

Del análisis estadístico comparativo entre ambos clones se obtiene un P-valor=0,000, lo que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa en la densidad entre ambos clones, con una diferencia entre los valores medios del orden del 18%. Esta diferencia es mayor que la encontrada en las piezas utilizadas en los ensayos a flexión entre ambos clones que era del 8% [14]. Se observa una disminución en la densidad del clon 'Australiano129/60' y una leve suba en la del clon 'Stoneville 67'. La figura 6 presenta el gráfico de caja y bigotes de ambas poblaciones.

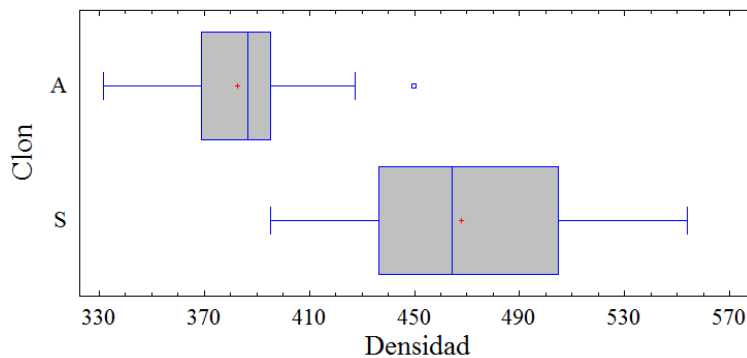


Figura 4: Densidad por clon(Kg/m<sup>3</sup>)

### 3.2 Análisis por grado resistente. Clasificación visual según norma IRAM 9662/4 [4]

En virtud del objetivo de analizar el comportamiento a la compresión paralela en piezas que califiquen de acuerdo a los parámetros de la norma IRAM 9662/4 [4] en la tabla 4 se expone el análisis estadístico para los dos grados resistentes definidos. Se indica el número de piezas al solo efecto de cuantificar la base de cálculo.No se pueden evaluar rendimientos, en cuanto al porcentaje de piezas que califican, por el sesgo de la muestra (se ensayaron piezas que mayoritariamente cumplen con los requisitos de los grados 1 y 2 de la norma [4]). El rendimiento del sistema de clasificación se puede ver en la publicación [14].

Tabla 4: Resistencia a la compresión paralela por clase resistente (N/mm<sup>2</sup>).

Clon	Grado	Mínimo	Medio	Máximo	Percentil 5%	Desvío	COV	n
Australiano	1	26,6	31,0	35,1	27,0	2,6	8,4	42
169/60	2	23,4	25,5	27,4	23,4	1,2	4,6	9
Stoneville	1	30,7	38,0	46,8	31,1	4,5	12	20
67	2	24,8	33,2	41,5	25,7	4,6	14	25
Ambos	1	26,6	33,3	46,8	27,1	4,6	14	62
	2	23,4	31,1	41,5	24,6	5,3	17	34

La población de las probetas del clon 'Australiano 129/60' condujo a que solo nueve piezas calificaran en el grado 2 y el resto en grado 1. En el clon 'Stoneville 67' hay una mayor distribución por grado. El clon 'Stoneville 67' presenta, para el grado 1, valores de resistencia a la compresión paralela, percentil 5% y valor medio, superiores a los del clon 'Australiano29/60'. El análisis de ambos clones en conjunto presenta una diferencia del 10% entre los grados 1 y 2. El coeficiente de variación aumenta en el análisis en conjunto por la diferencia entre los valores para cada clon.

La tabla 5 presenta los valores de módulo de elasticidad por grado resistente. Se puede apreciar nuevamente que el clon 'Stoneville 67' presenta valores muy superiores a los del clon 'Australiano 129/60'. En el grado 1 el valor medio es casi un 30 % superior, mientras que en grado 2 la diferencia asciende al 42%. En el análisis en conjunto se puede apreciar que a diferencia de lo observado con la resistencia la separación en clases resistentes no ofrece una mejora en el módulo de elasticidad, este resultado es similar al obtenido en los ensayos a flexión [14].

Tabla 5: Módulo de elasticidad en compresión paralela por clase resistente(N/mm<sup>2</sup>).

Clon	Grado	Mínimo	Medio	Máximo	Percentil5%	Desvío	COV	n
Australiano 169/60	1	6.151	9.611	14.626	6.241	1.806	19	42
	2	5.070	7685	8.672	5.070	1.127	15	9
Stoneville 67	1	6.875	12.575	15.782	8.214	2.009	16	20
	2	6.530	11.162	15.587	7.558	2.492	22	25
Ambos	1	6.151	10.567	15.782	6.560	2.324	22	62
	2	5.070	10.235	15.587	6.530	2.699	26	34

De la misma manera que lo encontrado en los ensayos a flexión por Guillaumet *et al.* [14] el clon 'Stoneville 67' presenta un mayor módulo de elasticidad y mayor densidad, y en el caso de la compresión paralela un mayor valor de resistencia. Solamente se puede justificar el estudio en conjunto en que resultan muy difíciles de reconocer como madera aserrada en los puntos de comercialización, que no se marcan en aserradero para facilitar su diferenciación y que en Argentina es relativamente nuevo el proceso de clasificación visual resistente. En base a estas consideraciones y que las diferencias no son tan significativas la norma IRAM 9662/4 [4] los trata en conjunto.

Para el *Populus x euroamecaricana* I-214 cultivado en la provincia de Río Negro, Argentina, se publicó [23] un valor medio de resistencia a la compresión paralela similar al obtenido para el grado 1 del clon 'Australiano 129/60' y un módulo de elasticidad muy inferior de 5.544 N/mm<sup>2</sup>.

### 3.3 Análisis de la aplicación de la expresión de la norma UNE-EN 384:2010, por grado resistente según norma IRAM 9662/4 [4]

La publicación de Guillaumet *et al.* [14] presenta los resultados a flexión por clase resistente para ambos clones tratados como una sola muestra, por ello se presenta el análisis en conjunto, tal como lo trata la norma IRAM 9662/4 [4]. La tabla 6 presenta la comparación de los valores determinados por la aplicación de la expresión (3) que propone la norma UNE-EN 384:2010 [2] y los obtenidos experimentalmente en ensayo a la compresión paralela. Se observa que los valores experimentales son superiores a los determinados por la expresión de la norma [2], con una diferencia de 19% para el grado 1 y una diferencia del 17% para el grado 2. Los valores de diseño de referencia propuestos en el suplemento 1 del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera [1] para el *Populus deltoides* se fijaron tomando como base la norma IRAM 9662/4 [4]. Como esta norma propone valores característicos a flexión inferiores a la publicación mencionada [14], el valor determinado por aplicación de la expresión de la norma UNE-EN 384 [2] para la compresión paralela a las fibras resulta más bajo, es decir más alejado del valor experimental.



Tabla 6: Comparación de la resistencia a la compresión paralela, percentil 5%, según UNE-EN384:2010 [2] y la experimental

Grado	$f_{m,k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{c,0}$ UNE-EN384 N/mm <sup>2</sup>	$f_{c,0}$ experimental N/mm <sup>2</sup>	Diferencia %
1	26,8	22,0	27,1	-19%
2	22,6	20,3	24,6	-17%

$f_{m,k}$ : resistencia a la flexión publicada por Guillaumet *et al.* [14].  $f_{c,0}$  UNE-EN384: resistencia a la compresión paralela determinada con la expresión de la UNE-EN 384:2010 [2].  $f_{c,0}$  experimental: resistencia a la compresión paralela experimental según este trabajo.

En la tabla 7 se presentan los módulos de elasticidad en flexión por clase resistente para ambos clones en conjunto publicados por Guillaumet *et al.* [14] y los obtenidos experimentalmente por ensayo a la compresión paralela. Se puede observar que los valores obtenidos son ligeramente inferiores a los obtenidos en flexión.

Tabla 7: Comparación del módulo de elasticidad medio en flexión y en compresión paralela

Grado	$E_{m,g}$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{c,0}$ experimental N/mm <sup>2</sup>	Diferencia %
1	10.812	10.567	-2%
2	10.466	10.235	-2%

$E_{m,g}$ : módulo de elasticidad global en flexión según Guillaumet *et al.* [14].

$E_{c,0}$  experimental: módulo de elasticidad determinado en compresión paralela en este trabajo.

#### 4. CONCLUSIONES

El clon 'Stoneville 67' de *Populus deltoides* cultivado en el delta del río Paraná presentó valores de resistencia a la compresión paralela a las fibras, módulo de elasticidad en compresión paralela y densidad superiores a los obtenidos para el clon 'Australiano 129/60' de la misma procedencia.

El sistema de clasificación visual resistente propuesto en la norma IRAM 9662/4 [4] genera en la resistencia a la compresión paralela a las fibras, percentil 5%, una interesante diferencia entre los valores para los grados 1 y 2.

Para ambos clones tratados en conjunto, como lo hace la norma IRAM 9662/4 [4], se obtuvieron valores de resistencia a la compresión paralela a las fibras, percentil 5%, de 27,1 N/mm<sup>2</sup> y de 24,6 N/mm<sup>2</sup> para los grados resistentes 1 y 2 respectivamente.

Los valores de resistencia a la compresión paralela a las fibras obtenidos a partir de la resistencia a la flexión con la expresión propuesta en la norma UNE-EN 384:2010 [2] resultaron sensiblemente inferiores, 19% y 17% para los grados resistentes 1 y 2 respectivamente, a los obtenidos experimentalmente.

El sistema de clasificación visual resistente propuesto en la norma IRAM 9662/4 [4] no genera diferencias en el valor medio del módulo de elasticidad en compresión paralela a las fibras entre los valores para los grados 1 y 2.

Para ambos clones tratados en conjunto se obtuvieron valores medios de módulo de elasticidad en compresión paralela de 10.567 N/mm<sup>2</sup> y de 10.235 N/mm<sup>2</sup> para los grados resistentes 1 y 2 respectivamente. Los valores son ligeramente inferiores (2%) a los publicados para ensayos a flexión [14].

A la luz de los resultados obtenidos experimentalmente se deberían revisar los valores propuestos para la compresión paralela a las fibras en el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera [1].

## REFERENCIAS

- [1] CIRSOC 601. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles. (2016). Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Buenos Aires. (2016)
- [2] UNE-EN 384:2010. Agencia Española de Normalización y Certificación. Determinación de los valores característicos de las propiedades y la densidad. Madrid. (2010).
- [3] UNE- EN 408:2011. Agencia Española de Normalización y Certificación. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Madrid. (2011).
- [4] IRAM 9662-4. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 4 – Tablas de álamo ‘Australiano 129/60’ y ‘Stoneville 67’ (Populus deltoides). Buenos Aires. (2014)
- [5] IRAM 9660-1. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Parte 1: Clases de resistencia y requisitos de fabricación y de control. Buenos Aires. (2015).
- [6] IRAM 9660-2. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Parte 2: Métodos de ensayo. Buenos Aires. Argentina.
- [7] IRAM 9661. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Requisitos de los empalmes por unión dentada. Buenos Aires. Argentina.
- [8] IRAM 9662-1. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 1: Tablas de pino Paraná (Araucaria angustifolia). Buenos Aires. (2015)
- [9] IRAM 9662-2. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 2: Tablas de Eucaliptus grandis. Buenos Aires. (2015)
- [10] IRAM 9662-3. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 3: Tablas de Pinus Taeda / Elliotti. Buenos Aires. (2015)
- [11] Guillaumet, A.A.; Filippetti, M.C.; Acuña Rello, L.; Piter, J.C. Utilización de la madera de álamo en elementos estructurales. XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Montevideo, Uruguay. (2014)
- [12] Fank, P; Stefani, P.; Piter, J. C. Resistencia y rigidez de tablas destinadas a la fabricación de madera laminada encolada estructural. Análisis comparativo entre el pino resinoso (Pinustaeda/elliottii) y el álamo (Populus deltoides ‘Australiano 129/60’ y ‘Stoneville 67’). IV Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina. La Plata, Argentina. (2014).
- [13] Filippetti MC, Guillaumet AA, Manavella RD, Guillaumet MP. Uso estructural de la madera de álamo. II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. Belo Horizonte, Brasil. (2015).
- [14] Guillaumet, A.A.; Filippetti, M.C.; Acuña Rello, L.; Piter, J.C. Propiedades mecánicas en flexión de la madera aserrada de Populus deltoides ‘Stoneville 67’. XXXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Asunción, Paraguay. (2016).
- [15] Guillaumet A., Manavella R., Acuña Rello L., Piter J.C. Influencia de las dimensiones de la sección transversal sobre la resistencia a flexión en madera aserrada de Populus deltoides cultivado en Argentina. Maderas: Ciencia y Tecnología 18(4):587-598. (2016)
- [16] Manavella R.D., Guillaumet A.A., Filippetti María C., Tortoriello M. Determinación de la Resistencia al Aplastamiento en Madera de Álamo para Uniones Tipo Clavija. XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Montevideo. Uruguay. (2014)
- [17] Manavella R.D., Guillaumet A.A., Filippetti María C., Tortoriello M. Resistencia al aplastamiento en madera de álamo, influencia del diámetro de perno y la densidad. XXXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Asunción, Paraguay. (2016).
- [18] Edlun B. Tension and compression. Timber engineering step 1. First edition. Centrum Hout. The Netherlands. P 197-204 (1995).
- [19] IRAM 9664. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Buenos Aires. (2013)

- [20] IRAM 9663. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera estructural. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas. Buenos Aires. (2013)
- [21] ISO 3130. International Organization for Standardization (E). Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests. (175).
- [22] ISO 3131. International Organization for Standardization (E). Wood - Determination of density for physical and mechanical tests. (1975).
- [23] Spavento E. tesis doctoral “Caracterización y mejora tecnológica de la madera de Populus x euramericana I-214 (dode) guinier, austral y boreal, con fines estructurales”. Universidad de Valladolid. España. (2015)