

Manuscrito avaliado e aceito pelo comitê científico do II CBCTEM

## Uso estructural de la madera de álamo

María C. Filippetti<sup>1</sup>, Alfredo A. Guillaumet<sup>2</sup>, Roberto D. Manavella<sup>2</sup>, María P. Guillaumet<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ing., Profesor Adjunto, Investigador, Universidad Tecnológica Nacional FR Venado Tuerto, Argentina.

<sup>2</sup> Ing., Profesor Titular, Investigador, Universidad Tecnológica Nacional FR Venado Tuerto, Argentina.

<sup>3</sup> Arq. Integrante del grupo GIDEC Universidad Tecnológica Nacional FR Venado Tuerto, Venado Tuerto, Argentina.

**RESUMEN** Tradicionalmente se utilizó madera proveniente de bosques nativos, caracterizada por una alta densidad acompañada de excelentes propiedades mecánicas y durabilidad natural. La protección de esos bosques condujo a la utilización de madera proveniente de cultivos de rápido crecimiento, la que usualmente presenta un decrecimiento de las propiedades mencionadas anteriormente. La falta de información sobre el comportamiento estructural de estas especies genera incertidumbre y coloca a este material en una clara desventaja frente a otros tradicionalmente empleados en nuestro medio. La reciente redacción del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (CIRSOC 601) pone en evidencia la necesidad de abordar nuevas combinaciones especie-procedencia en los proyectos orientados a la determinación de las propiedades más importantes para el diseño estructural. En este trabajo se presentan y discuten los resultados de ensayos realizados sobre 299 tablas y 232 vigas representativas de cinco dimensiones de uso estructural habitual, preparadas con madera aserrada de Álamo *Populus deltoides* Australiano 129/60 proveniente de bosques implantados en el delta del río Paraná. La parte experimental se realizó de acuerdo a las Normas UNE EN 408:2011 y UNE EN 384:2010. Los resultados prueban que este material, clasificado visualmente por resistencia, presenta propiedades mecánicas que no difieren significativamente de las adoptadas para otras especies cultivadas en el país. En consecuencia, alientan la realización de nuevos estudios orientados a consolidar su uso en estructuras portantes de distinto tipo.

**Palabras-clave:** clasificación visual, álamo, estructura madera, propiedades mecánicas madera.

## Poplar wood as a structural material

**ABSTRACT** Traditionally, timber was obtained from native forests and was characterized by a high density accompanied by excellent mechanical properties and natural durability. As a consequence of the protection of native species, an increasing number of fast-growing species is used at present for structural purposes. Since the mechanical behavior of these fast-growing species are scarcely known, it is necessary to carry out new studies aimed at making timber a reliable and competitive structural material. The recent edition of the Argentinean design code CIRSOC 601 make evident the necessity of preparing new project aimed at studying the most important mechanical properties of new species-provenance combinations. In this paper are presented and discussed the results of tests performed on 299 boards and 232 beams of *Populus deltoides* “Australian 129/60” in structural sizes. The experimental part was performed according to the UNE EN 408:2011 and UNE EN 384:2010. The results proved that this material, visually strength graded, presents mechanical properties that do not differ significantly from those adopted for other cultivated species in the country and, consequently encourage further studies aimed at improving their use in load-bearing structures of different types.

**Keywords:** visual strength grading, poplar, wood structures, timber mechanical properties.

## Introducción

En Argentina, durante mucho tiempo se utilizaron especies nativas de madera dura con propiedades mecánicas adecuadas para el uso estructural. La protección del bosque nativo y los planes de forestación para especies de rápido crecimiento orientan el consumo de madera para la construcción hacia estas nuevas especies y colocan a los profesionales ante la situación de utilizar un material, cuyas propiedades estructurales no conocen con certeza.

Actualmente los estudios sobre la aptitud de la madera para la construcción de estructuras son escasos, se ha podido concretar en normativa IRAM la clasificación visual de tablas de *Araucaria angustifolia* de Misiones, *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* de Misiones y Corrientes, y *Eucalyptus grandis* de la Mesopotamia (IRAM 9662/1, 9662/2 y 9662/3), y su utilización en la fabricación de vigas laminadas encoladas (IRAM 9660/1). En cuanto a la madera aserrada se desarrolló la norma IRAM 9670 de clasificación visual de vigas de madera aserrada de *P. taeda* y *P. elliottii*. El esquema de norma IRAM 9662-4 presenta la clasificación visual de tablas de *Populus deltoides* “Australiano 129/60 y Stoneville 67” cultivada en el Delta del Río Paraná con destino a la fabricación de vigas laminadas encoladas. Sin embargo, no existen antecedentes comparables que hayan permitido la concreción en una normativa IRAM para tablas o vigas de otras combinaciones especie / procedencia.

La confección de los suplementos del “Reglamento Argentino de Estructuras de Madera”, CIRSOC 601, con los valores de diseño de referencia para las diferentes especies y lugares de procedencia, puso en evidencia esta falta de información sobre el comportamiento estructural de especies de rápido crecimiento. En las especies de reforestación “El álamo en general se presenta como una especie de rápido crecimiento, baja densidad de la madera y rigidez, pero con resultados que podrían satisfacer las condiciones para fabricación de vigas laminadas o como vigas aserradas para pequeñas luces” (Castro, 2006).

Existen numerosos trabajos que presentan las pautas para establecer la clasificación visual resistente de especies de rápido crecimiento Hermoso Prieto E (2001), Piter JC (2003a), Guillaumet et al (2007), Casado et al (2009), Casado et al (2011), entre otros. En todos los casos se observa un equilibrio entre los límites propuestos, la mejora de calidad de cada clase y el número de rechazos. Se aprecia como parámetros de primera incidencia en el comportamiento estructural la presencia de médula y la dimensión de los nudos en relación al ancho de la cara donde se manifiestan; en segunda instancia aparecen las deformaciones previas, el ataque biológico, fisuras, inclinación de las fibras y aristas faltantes.

La resistencia en flexión aumenta al disminuir el tamaño de la pieza. Esta variación constatada en diversos trabajos, Piter (2012), Hermoso et al (2002), condujo a la inclusión en los reglamentos NDS (2005), CIRSOC 601 (2013) y Eurocódigo 5 (2005) de correcciones por la altura de la pieza en flexión. En función de esta característica del material, la norma UNE-EN 384:2010 prevé correcciones para ajustar el valor de la resistencia a flexión a una altura de referencia de 150 mm.

Este trabajo tiene por objetivo comparar las propiedades mecánicas de la madera aserrada de *Populus deltoides* “Australiano 129/60”, proveniente de bosques implantados en el Delta del Río Paraná, con los valores planteados en la IRAM 9662/4 y con los presentados en el Reglamento CIRSOC 601 para otras especies de reforestación.

## Material y Métodos

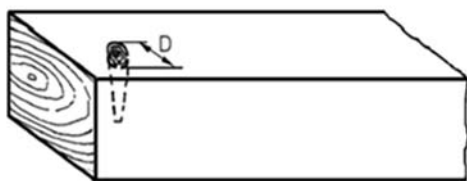
### Materiales

Se analizaron 531 cuerpos de prueba de *Populus deltoides* ‘Australiano 129/60’ provenientes de bosques implantados en el Delta del Río Paraná. La tabla 1 presenta el detalle de las esquadras de los mismos, el año de implante y de tala.

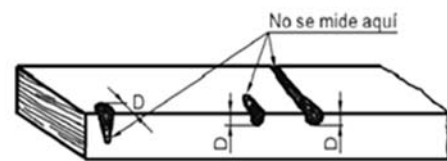
**Tabla 1.** Detalle de los cuerpos de prueba.

**Table 1.** Details of the specimens.

SERIE	CANTIDAD n	DIMENSIONES NOMINALES			MUESTRA n	FECHA	
		Base	Altura	Largo		Implante	Tala
		Pulg.	Pulg.	cm.		Año	Año
1	300	4	1	50	1	1996	2009
2	66	1	4	200	1	1996	2009
3	56	2	3	200	2	1998	2011
4	56	2	4	200	2	1998	2011
5	54	2	6	300	2	1998	2011



**Figura 1.** Medición del nudo cara.  
**Figure 1.** Measurement of the knot.



**Figura 2.** Medición del nudo de arista.  
**Figure 2.** Measurement of the knot.

Ambas plantaciones se realizaron con un espaciamiento de 6m x 4m en un terreno plano. Se anegaron por lluvia en pocas oportunidades con no más de quince días de estancamiento del agua y no más de 15-20 cm de altura del agua sobre el terreno. Se les practicó poda de formación al año, poda en altura a los 4 y 7 años de edad. Se realizó control de hormigas, roleado y rastreado en sus primeros 3 años, luego se introdujo ganado. En la plantación 1 se realizó un raleo al 30% a los nueve años y en la plantación 2 a los 7 años.

Los cuerpos de prueba se copiaron entablillados en el Laboratorio de Estructuras de Madera de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional. Previo al relevamiento de los defectos se cepillaron sus cuatro caras. Finalmente se copiaron en una cámara de estabilizado a 20°C de temperatura y 65 % de humedad relativa hasta el momento del ensayo.

**Desarrollo experimental**

Con los cuerpos de prueba cepillados se procedió al relevamiento de sus defectos: presencia de médula, dimensión de los nudos, deformaciones previas al ensayo, arista faltante, fisuras

y ataque biológico. Para realizar estas determinaciones se siguieron las prescripciones de la UNE-EN 14081-1:2006 y los lineamientos de la UNE-EN 1310:1997.

La dimensión de los nudos se midió entre paralelas a las aristas para los nudos de cara, Figura 1, para los nudos de arista se consideró la dimensión más chica que se manifestara en una de las caras, Figura 2. La nudosidad “K” se define como el porcentaje que ocupa la dimensión de cada nudo sobre la dimensión de la cara donde se manifiesta. Las Figuras 1 y 2 corresponden al esquema de norma IRAM 9662/4

Para el ataque biológico se definieron cuatro categorías de afectación (sin afectación, leve, moderada, intensa). Para la presencia de médula, la determinación fue si la pieza incluía o no partes de la misma.

Los ensayos de las series 2, 3, 4 y 5 de la Tabla 1 se realizaron en el laboratorio de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto, mientras que la serie 1 se ensayó en el Laboratorio de la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Para las series 1, 2 y 3 las cargas se registraron con una celda de carga de 10 KN de carga máxima, mientras que para las series 4 y 5 se utilizó una celda de carga de 50 KN de carga máxima. Las deformaciones

para la determinación del módulo de elasticidad global y local se registraron con comparadores digital con una precisión de 0.01 mm.

El procedimiento experimental se realizó de acuerdo a las prescripciones de la norma UNE-EN 408:2011. La Figura 3 presenta el esquema de cargas para el ensayo.

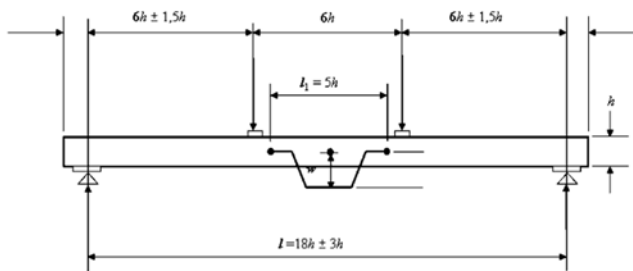


Figura 3. Esquema de cargas.

Figure 3. Schematic of the loads.

La Figura 4 muestra el ensayo de una viga en la Universidad Tecnológica Nacional FRVT.

La Figura 5 presenta el ensayo de una tabla en la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.



Figura 4. Ensayo de una viga.

Figure 4. Test of the wood beam.



Figura 5. Ensayo de una tabla.

Figure 5. Test of the wood board.

Los valores obtenidos para la resistencia a la flexión se ajustaron a la altura de referencia de 150 mm de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 384:2010, los módulo de elasticidad se ajustaron a la humedad de referencia del 12% según plantea la norma UNE-EN 384:2010 y los de densidad se ajustaron a la humedad de referencia del 12% de acuerdo a la norma UNE-EN 384:2010.

## Resultados y Discusión

La tabla 2 presenta el resumen estadístico de los valores obtenidos para la resistencia a flexión, módulo de elasticidad global y densidad para cada una de las cinco series ensayadas.

Las probetas *Populus deltoides* “Australiano 129/60” que presentaban ataque biológico se ensayaron, pero sus valores no fueron tenidos en cuenta en el análisis estadístico, ya que para esta especie no es aceptado por norma, concepto que se pudo corroborar experimentalmente.

### *Método propuesto para la clasificación visual de la especie estudiada*

Como criterio de clasificación se utilizó el propuesto en el esquema de norma IRAM 9662/4 para tablas de *Populus deltoides* “Australiano 129/60” y “Stoneville 67” cultivados en el Delta del Río Paraná. La clase 1 sin médula y nudosidad menor a 1/3, clase 2 admite médula y nudosidad hasta 2/3, y clase 3 el resto (no aceptada para uso estructural). Los límites para definir las clases resistentes se resumen en la tabla 3.

La tabla 4 presenta el resumen estadístico de los valores de las propiedades de todas las probetas de *Populus deltoides* “Australiano 129/60” para cada grado resistente de acuerdo a la propuesta de clasificación anterior.

Se realizó el mismo análisis para los resultados de las tablas solamente y se muestran en la tabla 5. Para las serie 3, 4 y

5, que se ensayaron como vigas (la mayor dimensión de la sección en el plano de flexión), los resultados obtenidos son presentados en la tabla 6.

**Análisis comparativo de las propiedades mecánicas por clase resistente**

La norma IRAM 9662/4 para tablas de *Populus deltoides* “Australiano 129/60” y “Stoneville 67” cultivados en el Delta del Río Paraná, propone como valores de propiedades mecánicas y de densidad, los indicados en la tabla 7.

Los valores de resistencia a flexión percentil 5% se los corrigió con un coeficiente de 0.93, según prescribe la UNE 384-2010, por ajuste de la influencia del número de muestras y tamaño de muestras. Los gráficos de columna de la Figura 6 nos muestran los valores de resistencia a flexión obtenidos experimentalmente y los propuestos por IRAM.

Los gráficos de columna de la Figura 7 registran los valores medios de módulo de elasticidad global, por clase obtenidos experimentalmente y se los compara los valores indicados en la IRAM 9662/4.

Se aprecia que los valores de resistencia a flexión resultaron superiores en ambas clases, en tablas un 30 % y para vigas un 10 % a los propuestos en la norma IRAM 9662/4.

Al comparar los valores experimentales del módulo de elasticidad global, en clase 1 para tablas fueron superiores a los indicados por la norma, y en vigas estos resultaron un 5% menor.

Para la clase 2 los valores experimentales tanto en vigas como en tablas superan un 10 % los propuestos por la norma IRAM 9662/4.

**Tabla 2.** Resumen estadístico de valores obtenidos para cada una de las 5 series ensayadas.

**Table 2.** Statistical summary for each serie tested.

SERIE	Parámetro	Unidad	Valor medio	Máximo	Mínimo	Percentil 5%	COV %	Recuento (n)
1	$f_m$	N/mm <sup>2</sup>	38,3	55,6	19,5	25,5	18,1	287
	$E_{m,g}$	N/mm <sup>2</sup>	10123	13436	4078	7279	14,9	296
	$d$	Kg/m <sup>3</sup>	405	517	346	364	6,4	291
2	$f_m$	N/mm <sup>2</sup>	35,2	50,3	16,5	17,6	26,4	65
	$E_{m,g}$	N/mm <sup>2</sup>	9479	11955	5673	7495	12,7	65
	$d$	Kg/m <sup>3</sup>	402	550	326	352	8,8	65
3	$f_m$	N/mm <sup>2</sup>	37,3	45,7	25,8	28,2	14,1	48
	$E_{m,g}$	N/mm <sup>2</sup>	9587	13218	7278	7862	13,2	48
	$d$	Kg/m <sup>3</sup>	392	438	327	350	5,7	48
4	$f_m$	N/mm <sup>2</sup>	35,2	59,5	17,9	22,3	24,9	49
	$E_{m,g}$	N/mm <sup>2</sup>	10039	13701	6844	8114	11,7	48
	$d$	Kg/m <sup>3</sup>	397	446	344	351	6,1	49
5	$f_m$	N/mm <sup>2</sup>	39,5	58,6	18,4	18,5	26,0	38
	$E_{m,g}$	N/mm <sup>2</sup>	7140	16169	5166	5244	26,5	38
	$d$	Kg/m <sup>3</sup>	460	496	398	400	5,5	38
TODAS	$f_m$	N/mm <sup>2</sup>	37,9	59,5	16,5	23,3	20,6	487
	$E_{m,g}$	N/mm <sup>2</sup>	9750	16169	4078	6765	16,9	496
	$d$	Kg/m <sup>3</sup>	407	550	326	361	7,6	491

Siendo:  $f_m$ : Resistencia a flexión,  $E_{m,g}$ : Módulo de elasticidad global y  $d$ : densidad.

**Tabla 3.** Pautas para la clasificación visual en el esquema de norma IRAM 9662/4.

**Table 3.** Rates for visual classification as a function of IRAM 9662/4 standard.

Defecto		Unidad	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Médula		–	No se admite	Se admite	Se admite
Nudosidad		mm/mm	≤ 1/3	≤ 2/3	Sin restricción
Dirección de las fibras		mm/mm	Desviación menor que 1:9		Sin restricciones
Densidad		Kg/m <sup>3</sup>	No se aceptan piezas con densidad excepcionalmente baja		Sin restricciones
Fisuras	No pasan-tes	m	No mayores que 1 m o ¼ de la longitud de la pieza (la que sea menor)	No mayores que 1,5 m o ½ de la longitud de la pieza (la que sea menor)	Sin restricciones
	Pasantes	m	Sólo se admiten en los extremos y si son de longitud no mayor que el ancho de la pieza	No mayores que 1 m o ¼ de la longitud de la pieza (la que sea menor). Si están en los extremos, la longitud no será mayor que dos veces el ancho de la pieza	Sin restricciones
Curvatura de cara en 2 m		mm	10	20	Sin restricciones
Curvatura de canto en 2 m		mm	8	12	Sin restricciones
Alabro		mm/mm	Menor que 1 mm por cada 25 mm de ancho.	Menor que 2 mm por cada 25 mm de ancho.	Sin restricciones
Abarquillado			Sin limitación		Sin restricciones
Arista faltante		mm/mm	Transversalmente menor que 1/4 de la cara o canto donde aparece.	Transversalmente menor que 1/3 de la cara o canto donde aparece.	Sin restricciones
			Sin restricciones para el largo		Sin restricciones
Ataques biológicos		–	No se admiten zonas atacadas por hongos causantes de pudrición.		Sin restricciones
			Se admiten zonas atacadas por hongos cromógenos.		Sin restricciones
			No se admiten orificios causados por insectos		Sin restricciones
Madera de reacción		mm/mm	Menor o igual que 1/5	Menor o igual que 2/5	Sin restricciones

**Comparación de las propiedades estructurales del *Populus deltoides* “Australiano 129/60” con otras especies presentadas en el Suplemento 1 del Reglamento CIRSOC 601**

Se confeccionó la Tabla 8 a los efectos de establecer una comparación con los valores de las propiedades resistentes y de rigidez propuestas para vigas aserradas en el Suplemento

1 del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601. Para incorporar a la misma los valores presentados en la tabla 8 se afectó la resistencia a la flexión de un coeficiente de seguridad de “2” y de un coeficiente por duración de la carga de “1,6”; al módulo de elasticidad se lo afectó de un coeficiente de 0,86 para ajustar el valor a la humedad de referencia del 19%. Los coeficientes aplicados son para ajustar los valores de las condiciones de ensayo a las condiciones de referencia que adopta el CIRSOC 601.

**Tabla 4.** Valores estadísticos de las propiedades para cada clase resistente para tablas y vigas.

**Table 4.** Statistical values of properties for each class of boards and beams.

VALORES ESTADISTICOS	CLASE 1		CLASE 2		CLASE 3	
	$f_m$	$E_{m,g}$	$f_m$	$E_{m,g}$	$f_m$	$E_{m,g}$
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
Promedio	40,4	10204	36,8	9945	31,1	8895
COV [%]	16%	13%	21%	14%	28%	14%
Mínimo	20	5220	17,62	4079	16,51	6662
Máximo	59,22	13436	59,47	13704	53,21	11295
Percentil 5%	28,8	8267	22,58	7278	17,4	6943
Recuento [n]	237	243	196	199	54	54
Porcentaje [%]	49%	49%	40%	40%	11%	11%

**Tabla 5.** Valores estadísticos de las propiedades para cada clase resistente para tablas.

**Table 5.** Statistical values of properties for each class for boards.

VALORES ESTADISTICOS	CLASE 1		CLASE 2		CLASE 3	
	$f_m$	$E_{m,g}$	$f_m$	$E_{m,g}$	$f_m$	$E_{m,g}$
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
Promedio	40,6	10433	36,37	9940	32,3	8732
COV [%]	15,0	13,1	19,0	15,6	19,3	16,3
Mínimo	22,55	5220	19,54	4077	21,76	6664
Máximo	55,61	13436	49,5	13019	44,35	11289
Percentil 5%	31,12	8357	24,89	6931	22,6	6759
Recuento [n]	153	159	114	117	20	20
Porcentaje [%]	53	54	40	39	7	7

**Tabla 6.** Valores estadísticos de las propiedades para cada clase resistente en vigas.

**Table 6.** Statistical values of properties for each class for beams.

VALORES ESTADISTICOS	CLASE 1		CLASE 2		CLASE 3	
	$f_m$	$E_{m,g}$	$f_m$	$E_{m,g}$	$f_m$	$E_{m,g}$
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
Promedio	39,9	9771	37,31	9953	30,4	8991
COV [%]	18%	12%	23%	12%	32%	13%
Mínimo	19,8	5671	17,62	6841	16,51	7276
Máximo	58,6	13216	59,47	13704	53,21	11235
Percentil 5%	26,45	8116	21,24	8286	16,68	7319
Recuento [n]	84	84	82	82	34	34
Porcentaje [%]	42%	42%	41%	41%	17%	17%

**Tabla 7.** Valores característicos de las propiedades mecánicas según IRAM 9662/4.

**Table 7.** Characteristic values of the mechanical properties according to IRAM 9662/4.

Clase de resistencia	Resistencia a la flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	24	14	10200	400
2	18	11	9000	400

Se observa que las propiedades resistentes y de rigidez del Río Paraná son superiores a las del *Pinus taeda* y *Pinus elliotii*, pero inferiores a las del *Eucalyptus grandis* y las de la *Populus deltoides* Australiano 129/60 cultivado en el Delta del Araucaria angustifolia.

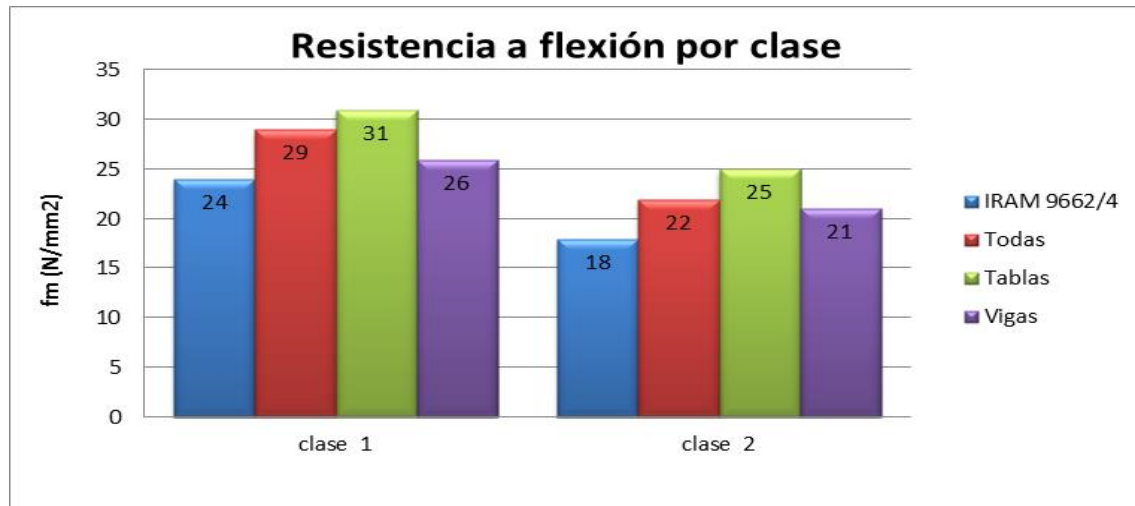


Figura 6. Comparación de los valores de resistencia a flexión por clase.

Figure 6. Comparison of bending strength values as a function of class.

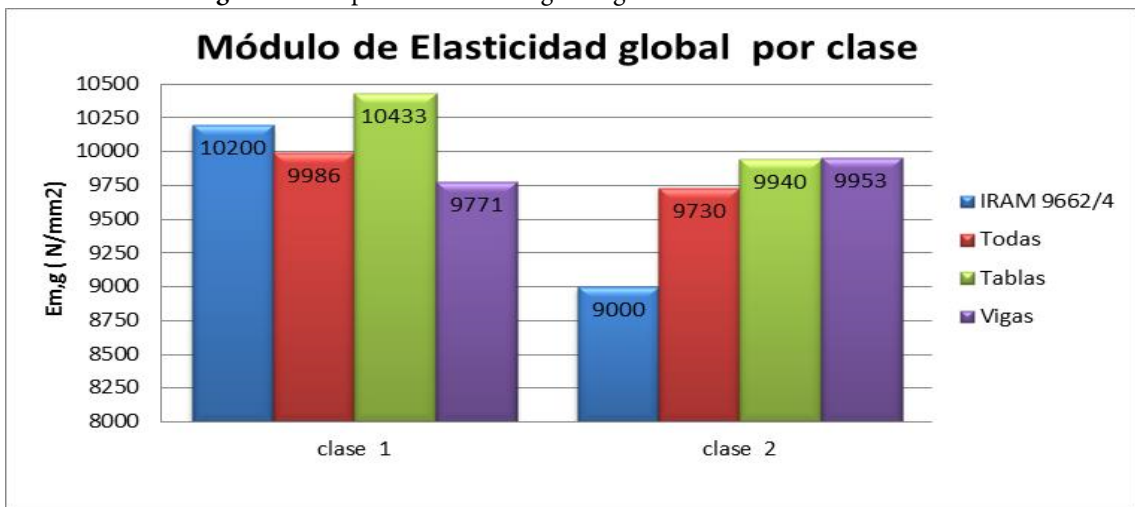


Figura 7. Comparación de los valores de módulo de elasticidad global por clase.

Figure 7. Comparison of elasticity modulus values as a function of class.

Tabla 8. Comparación de las propiedades resistentes del *Populus deltoides* “Australiano 129/60” con los valores para otras especies presentados en el CIRSOC 601.

Table 8. Comparison between the strength properties of *Populus deltoides* “Australian 129/60” and other species presented in CIRSOC 601.

ESPECIE	CLASE 1			CLASE 2			CLASE 3		
	<i>f<sub>m</sub></i>	<i>E<sub>m</sub></i>	$\delta$	<i>f<sub>m</sub></i>	<i>E<sub>m</sub></i>	$\delta$	<i>f<sub>m</sub></i>	<i>E<sub>m</sub></i>	$\delta$
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
Araucaria angustifolia	10,6	13.300	440	6,6	11.400	390	5,00	10.000	390
Eucalyptus grandis	9,4	12.000	430	7,5	10.800	430	5,60	10.000	430
Pinus taeda y elliotii	6,2	7.700	420	3,2	6.500	390	-	-	-
Populus Australiano 129/60	8,3	8.403	361	6,6	8.560	361	5,21	7.732	361



## Conclusiones

La norma IRAM 9662/4 propone valores de referencia para resistencia a flexión y módulo de elasticidad para tablas de álamo, si los comparamos con los obtenidos experimentalmente para tablas aserradas de *Populus deltoides* "Australiano 129/60" cultivados en el Delta del Paraná, estos resultados superiores a los planteados por la norma.

Los valores obtenidos para vigas aserradas con distintas escuadrías, se compararon con los propuestos para tablas por la norma, tratando de observar si es un parámetro a referenciar válido. Del análisis estadístico de los valores de resistencia a flexión para ambas clases los resultados fueron 20 % superiores a los propuestos por la IRAM 9662/4.

Respecto de los valores del módulo de elasticidad global, el comportamiento en vigas resultó para clase 2 un 10% superior a los planteados por la norma, pero en clase 1 esa correspondencia es 5% inferior.

Por lo que podríamos proponer que los valores de referencia planteados por la norma IRAM 9662/4 para tablas sean considerados válidos en vigas aserradas, especialmente en clase 1. En la clase 2 los valores de referencia propuestos por la norma, son muy conservadores respecto a los obtenidos experimentalmente para vigas.

Los elementos estructurales ejecutados con madera de *Populus deltoides* "Australiano 129/60" califican para uso estructural y resulta razonable proponer su incorporación al Suplemento 1 del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601.

## Agradecimientos

A graduados y alumnos del Grupo GIDEC (Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles) de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional y al Ingeniero Miguel Tortoriello, al Técnico Luis Seewald y alumnos de la Universidad Nacional del Noroeste de la

Provincia de Buenos Aires por su invaluable colaboración en el ensayo de los elementos estructurales.

## Referencias

- Casado M. et al. 2009. Structural timber classification of *Populus x Euroamericano* I-214.V Congreso Nacional y II Congreso Ibérico Agroingeniería. Lugo. España ISBN: 978-84-692-5560-5, Pág. 10
- Casado M. et al. 2011. Ultrasonidos y parámetros de clasificación visual para la caracterización de madera estructural de *Populus x euramericana* I-214. CIMAD 11 – 1º Congreso Ibero-Latinoamericano da Madeira na Construção, 7-9/06/2011, Coimbra, Portugal
- Castro G. 2006. Usos actuales y posibilidades futuras de la madera de álamo. Jornadas de Salicáceas 2006
- Guillaumet A.A., Filippetti M.C., Acuña Rello L., Piter J.C. 2014. Utilización de la madera de álamo en elementos estructurales. XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural 2014, Montevideo Uruguay.
- Guillaumet A.A., Manavella R.D., Filippetti M.C., Diab J., Armas A. (2007) Clasificación visual resistente de la *Araucaria angustifolia* procedente de Eldorado, Misiones, Argentina. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales IBERO-MADERA 2007, Buenos Aires.
- Guillaumet A.A., Manavella R.D., Filippetti M.C., Diab J., (2012) Propiedades Estructurales de la madera de *Araucaria Angustifolia* procedente de bosques implantados. XXXV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Río de Janeiro. Brasil
- Hermoso E, Fernández-Golfín JJ, Díaz MR. 2002. "Análisis del factor de altura Kh, en madera aserrada de estructural de pino silvestre". Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 11 (2)
- Hermoso Prieto E. (2001) Caracterización mecánica de la madera estructural de *Pynussylvestris* L... Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid.
- Piter J.C. (2003a) Clasificación por resistencia de la Madera aserrada como material estructural. Desarrollo de un método para el *Eucaliptos grandis* de Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería.

- Piter J.C., Zerbino R. L., Blaß H. J (2003b) Relationship between global and local Modulus of Elasticity in beams of Argentinean *Eucalyptus grandis*. *Maderas: Ciencia y Tecnología* 5(2): 107-116.
- Piter J.C., Zerbino R. L., Blaß H. J (2004). Visual strength grading of Argentinean *Eucalyptus grandis*. Strength, stiffness and density profiles and corresponding limits for the main grading parameters. *Holz Roh Werkst* 62:1-8 DOI 10.1007/s00107-003-0433-2. 2004
- Piter J.C. (2012) Size effect on bending strength in sawn timber of fast-growing Argentinean *Eucalyptus grandis*. Analysis according to the criterion of European standards. *European Journal of Wood and Wood Products* 70(1): 17-24
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (2010). *Madera estructural. Clases resistentes. UNE-EN 338:2010*. Madrid.
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (2010). *Determinación de los valores característicos de las propiedades y la densidad. UNE-EN 384:2010*. Madrid.
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (2011). *Madera aserrada y madera une-laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. UNE- EN 408:2011*. Madrid.
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (1997). *Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de singularidades. UNE-EN 1310:1997*. Madrid.
- Agencia Española de Normalización y Certificación. (2006). *Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales. UNE-EN 14081-1:2006*. Madrid.
- European Comité for Standardization (2009). *Structural timber – Strength classes. EN 338:2009*. Brussels
- European Comité for Standardization (2010). *Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties. EN 408:2010*. Brussels
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad en Obras Civiles. (2011). *Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (en etapa de discusión pública). CIRSOC 601*. Buenos Aires
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2005). *Madera laminada encolada estructural. Parte 1: Clases de resistencia y requisitos de fabricación y de control... IRAM 9660-1*. Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2005). *Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 1: Tablas de pino Paraná (*Araucaria angustifolia*). IRAM 9662-1*. Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2005). *Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 2: Tablas de *Eucalyptus grandis*. IRAM 9662-2*. Buenos Aires
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2005). *Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 3: Tablas de *Pino taeda - elliotti*. IRAM 9662-3*. Buenos Aires
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2014). *Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por Resistencia. Parte 4 – Tablas de álamo ‘australiano 129/60’ y ‘Stoneville 67’ (*Populus deltoides*). Esquema IRAM 9662-4*. Buenos Aires
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2002). *Madera estructural. Clasificación en grados de resistencia para la madera aserrada de pinos resinosos (Pino elliotti y Pino taeda) del noroeste argentino mediante una evaluación visual. IRAM 9670*. Buenos Aires
- International Organization for Standardization (E). *Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests. ISO 3130 (1975)*
- International Organization for Standardization (E). *Wood - Determination of density for physical and mechanical tests. ISO 3131 (1975)*.