



## RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN FLEXIÓN Y COMPRESIÓN DEL EUCALYPTUS GRANDIS DE ARGENTINA

### RELATIONSHIP BETWEEN BENDING AND COMPRESSION MECHANICAL PROPERTIES OF ARGENTINEAN EUCALYPTUS GRANDIS

Sosa Zitto, M. Alexandra<sup>(1)\*</sup>; Ramos, M. del Rocío<sup>(2)</sup>; Torrán, Eduardo A.<sup>(3)</sup>;  
Fank, Pamela Y.<sup>(1)</sup>; Piter, Juan C.<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Dr. Ing., Investigador, GEMA. Depto. de Ingeniería Civil. Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional. Concepción del Uruguay, Argentina.

<sup>(2)</sup> Ing., Investigador, GEMA. Depto. de Ingeniería Civil. Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional. Concepción del Uruguay, Argentina.

<sup>(3)</sup> Mg. Ing., Investigador, GEMA. Depto. de Ingeniería Civil. Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional. Concepción del Uruguay, Argentina.

\* Contacto: [alexandrasosazitto@gmail.com](mailto:alexandrasosazitto@gmail.com)

CÓDIGO: 4603638

#### Resumen

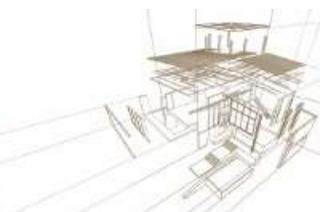
Este artículo presenta los resultados de una investigación experimental sobre madera aserrada de *Eucalyptus grandis* que incluyó 50 piezas ensayadas en flexión y 50 piezas ensayadas en compresión paralela a la fibra, de acuerdo a la norma argentina IRAM 9663 (2013). El análisis de los resultados de la muestra completa y los correspondientes a submuestras obtenidas por medio de la clasificación visual de las piezas mostró que la relación entre la resistencia en flexión y en compresión aumenta cuando crece la calidad de la madera. El valor del 5° percentil para la resistencia a compresión obtenido experimentalmente fue entre el 22% y el 39% mayor que el determinado a partir de la resistencia a flexión empleando la expresión provista por la norma IRAM 9664 (2013). Los valores medios del módulo de elasticidad obtenidos en compresión paralela a la fibra fueron entre 10% y 57% más altos que los determinados en flexión, pero no se encontró una relación clara entre estas propiedades. Los resultados mostraron que la adopción del criterio de la normativa argentina para relacionar las propiedades mecánicas de flexión y compresión puede conducir a un diseño conservador de los miembros de esta especie sometidos a compresión.

*Palabras-clave: flexión, compresión, Eucalyptus grandis.*

#### Abstract

The results of an empirical research project of Argentinean *Eucalyptus grandis* sawn timber enclosing 50 specimens tested in bending and another 50 tested in compression parallel to the grain, in both cases according to IRAM 9663 (2013), were studied. The analysis of the results corresponding to the wholes samples and to the grades obtained by visually strength grading the specimens showed that bending strength increased in relation to compression strength when timber quality increased. The 5-percentile values obtained for compression strength were between 22 % and 39 % higher than those derived from the bending strength results by applying the equation established in IRAM 9664 (2013). The modulus elasticity mean values obtained in compression parallel to the grain were between 10 % and 57 % higher than those determined in bending, but no clear relationship was found between these properties. These results showed that the adoption of the Argentinian standard to relate bending and compression mechanical properties may lead to a conservative design of compression members of this timber species.

*Keywords: bending, compression, Eucalyptus grandis.*



## 1. INTRODUCCIÓN

Resultados experimentales han demostrado que la madera de uso estructural presenta una relación entre las principales propiedades resistentes y de rigidez. Sin embargo, debido a las diferentes estructuras anatómicas presentadas por especies latifoliadas y coníferas, la relación encontrada entre algunas propiedades en coníferas difieren de la encontrada en latifoliadas (Glos 1995). Aunque con diferentes criterios, que pueden explicarse por la gran cantidad de especies incluidas en las normas de diversos países, la relación entre las principales propiedades de resistencia y rigidez es considerada por las normas (IRAM 9664 2013; NDS 2005; ABNT 2010).

De acuerdo con la normativa de Argentina, que está en línea con el criterio europeo, todas las propiedades de resistencia y rigidez se pueden calcular a partir de la resistencia y el módulo de elasticidad en flexión y la densidad. En particular, la resistencia característica a la compresión paralela a la fibra se puede derivar de la resistencia característica a la flexión mediante la aplicación de la Ecuación 1, de acuerdo a la norma IRAM 9664 (2013), que puede aplicarse a todos los grados de resistencia, tanto en coníferas como en latifoliadas.

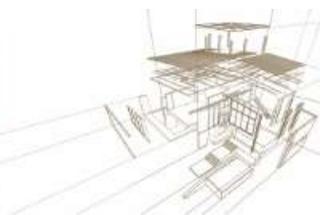
$$F_{c,0,k} = 5 (F_{m,k})^{0.45} \quad (1)$$

donde:

- $F_{c,0,k}$  es la resistencia característica a la compresión paralela a la fibra
- $F_{m,k}$  es la resistencia característica a la flexión

De acuerdo con este criterio, los resultados del módulo de elasticidad obtenidos de los ensayos de flexión también son aplicables al diseño de miembros estructurales cargados axialmente. Sin embargo, es importante enfatizar que algunos aspectos del problema como la influencia de la calidad de la madera en la relación entre propiedades no son bien conocidos y, en consecuencia, son necesarias más investigaciones para mejorar la precisión del sistema. Contrariamente al criterio adoptado en Argentina, las reglas de diseño de Brasil (ABNT 2010) establecen que, en ausencia de datos completos de ensayos mecánicos, todos los valores característicos de las propiedades de resistencia y rigidez se pueden calcular a partir de los resultados obtenidos del ensayo de compresión paralela a la fibra.

El *E. grandis* es una de las especies renovables más importantes cultivadas en Argentina (Dirección de Producción Forestal 2016) y su uso para fines estructurales es cada vez más frecuente. Esta especie de rápido crecimiento ha sido ampliamente investigada a través de ensayos sobre especímenes de tamaño estructural sometidos a flexión pero su comportamiento bajo cargas axiales ha sido escasamente analizado (Piter et al., 2003; Piter et al., 2004a y b; Torrán et al., 2008 Sosa Zitto et al., 2009). Un método de clasificación visual por resistencia fue adoptado por la norma argentina IRAM 9662-2 (2015), el cual se desarrolló basado en resultados de ensayos de flexión. No obstante, razones económicas y técnicas -relacionadas con la confiabilidad del diseño estructural- fundamentan la necesidad de examinar empíricamente otras propiedades mecánicas. En particular, el conocimiento del comportamiento de esta especie cuando se somete a compresión paralela a la fibra es de gran importancia para el diseño de columnas y estructuras reticuladas.



El objetivo de este trabajo es presentar y discutir los resultados de una investigación sobre la relación entre las propiedades mecánicas en flexión y en compresión en madera aserrada de *E. grandis* argentino. Los resultados obtenidos de ensayos realizados de acuerdo a la norma IRAM 9663 (2013) se analizan y comparan con los criterios adoptados por normas y reglas de diseño de diversos países.

## 2. METODOLOGÍA

Con el objetivo de obtener una muestra representativa de la variación de calidad en la madera, 50 piezas con tamaños nominales de 50 mm x 75 mm x 4000 mm se seleccionaron al azar. El 50% de las piezas procedió de una plantación de 16 años cultivada en Virasoro, Corrientes, y el otro 50% procedió de una plantación de 19 años cultivada en Concordia, Entre Ríos, que constituyen la principal procedencia de *E. grandis* en Argentina (INTA 1995).

Después de un período de secado al aire en ambiente exterior protegido, el material se cepilló y se acondicionó en una cámara a una temperatura de 20 +/- 2 °C y una humedad relativa de 65 +/- 5%. Con el fin de minimizar las variables fuera de control y para una mejor comparación de las propiedades mecánicas analizadas, de cada pieza se cortó un cuerpo de prueba con una longitud nominal de 1500 mm para ensayar en flexión y otro cuerpo con una longitud nominal de 300 mm para ensayar en compresión.

Todos los datos relacionados con la resistencia y la rigidez se obtuvieron de las pruebas llevadas a cabo según los procedimientos de la norma IRAM 9663 (2013). Para todas las pruebas estáticas se utilizó una máquina de ensayos Shimadzu UH 1000kN, capaz de aplicar cargas con una velocidad de movimiento adecuada del cabezal y una precisión del 1% de la carga aplicada.

Para las pruebas de flexión los cuerpos de prueba se dispusieron con los apoyos separados entre sí una distancia igual a 18 veces la altura de la sección de la pieza (1350 mm). Las cargas fueron aplicadas simétricamente en los tercios de dicha distancia. Cada cuerpo de prueba se preparó ubicando una sección transversal crítica en el tercio central de la pieza, es decir, la zona de mayor tensión. Para determinar el módulo de elasticidad global, se registraron las deformaciones en el centro del tramo mediante un extensómetro Somet, capaz de registrar 0,01 mm. La resistencia a la flexión ( $F_m$ ) y el módulo de elasticidad global ( $E_{m,g}$ ) se calcularon utilizando la expresión estándar.

Los cuerpos de prueba para ensayar en compresión paralela a la fibra se prepararon con una longitud igual a 6 veces la mínima dimensión de la sección transversal y se cargaron en forma centrada. Las deformaciones se midieron en una longitud igual a 4 veces la mínima dimensión de la sección transversal (200 mm), zona en la cual se ubicó una sección transversal crítica. Se utilizaron dos extensómetros Kafer capaces de registrar 0,001 mm, y ubicados en dos caras opuestas para minimizar los efectos de la distorsión. La resistencia ( $F_{c,0}$ ) y el módulo de elasticidad ( $E_{c,0}$ ) se determinaron usando la expresión estándar.

Los valores del 5-percentil de la resistencia a la flexión ( $F_{m,05}$ ) y a la compresión ( $F_{c,05}$ ) se determinaron por ordenamiento de acuerdo con el criterio de la norma IRAM



9664 (2013). El contenido de humedad y la densidad ( $\rho$ ) se determinaron sobre un trozo de sección transversal completa, libre de defectos, obtenido de una zona cercana a la rotura, tomado del cuerpo de prueba después de la prueba estática.

Se relevaron los principales parámetros visuales para la clasificación por resistencia de esta especie, como la presencia de médula, fisuras, grandes defectos y dimensiones de los nudos. La nudosidad (K) se expresó como la relación del ancho del nudo más grande -medido entre las líneas tangentes al nudo en dirección paralela a los bordes de la pieza- y el ancho total de la superficie sobre la que apareció. Para los nudos de borde se consideró el valor más bajo de K (IRAM 9662-2, 2015).

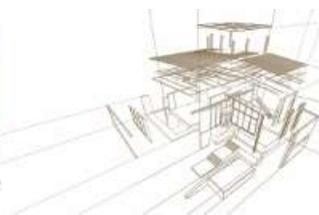
### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El valor medio del contenido de humedad alcanzó 14% y 15% para todas las muestras analizadas en flexión y compresión paralelas al grano, respectivamente. Los valores medios de densidad, ajustados a un contenido de humedad del 12% según IRAM 9664 (2013), alcanzaron  $560 \text{ kg/m}^3$  y  $586 \text{ kg/m}^3$  para las probetas sometidas a prueba en flexión y compresión, respectivamente, y los valores de COV correspondientes fueron del 19% y 18%. Estos resultados de densidad son congruentes con otros valores previamente reportados para esta especie de madera por Sosa Zitto et al. (2009).

La Tabla 1 resume los principales resultados obtenidos para las propiedades mecánicas analizadas; con el objetivo de estudiar la influencia de la calidad de la madera sobre la relación entre las propiedades mecánicas en flexión y en compresión, los resultados se presentan por separado para distintos perfiles de calidad, indicando en cada caso el número de cuerpos de prueba correspondiente a cada perfil.

Tabla 1. Resumen de los resultados de resistencia y módulo de elasticidad

Perfil <sup>(1)</sup>	Grado <sup>(1)</sup>	n <sup>(4)</sup>	Resistencia		Módulo de elasticidad	
			Flexión <sup>(2)</sup>	Compresión <sup>(3)</sup>	Flexión <sup>(3)</sup>	Compresión <sup>(3)</sup>
a	Muestra completa	50	50	50	50	50
		valor medio (N/mm <sup>2</sup> )	45.5	39.9	13300	18400
		COV (%)	31	19	21	51
		$F_{m,0.05}$ y $F_{c,0.05}$ (N/mm <sup>2</sup> )	31.3	30.1	-	-
b	b.1	37	37	37	37	37
		valor medio (N/mm <sup>2</sup> )	47.8	40.5	13800	20200
		COV (%)	31	19	21	50
		$F_{m,0.05}$ y $F_{c,0.05}$ (N/mm <sup>2</sup> )	32.5	31.2	-	-
b	b.2	13	13	13	13	13
		valor medio (N/mm <sup>2</sup> )	38.9	38.3	12000	13200
		COV (%)	26	16	18	23
		$F_{m,0.05}$ y $F_{c,0.05}$ (N/mm <sup>2</sup> )	27.4	29.7	-	-



c	c.1	n	32	30	32	30
		valor medio (N/mm <sup>2</sup> )	49.6	40.7	14000	20100
		COV (%)	28	18	19	52
		$F_{m,05}$ y $F_{c,0,05}$ (N/mm <sup>2</sup> )	35.7	30.5	-	-
c	c.2	n	18	20	18	20
		valor medio (N/mm <sup>2</sup> )	38.3	38.8	12100	15800
		COV (%)	30	19	21	43
		$F_{m,05}$ y $F_{c,0,05}$ (N/mm <sup>2</sup> )	28.0	30.4	-	-
IRAM 9662-2 (2015)	VSG 1	n	19	20	19	20
		valor medio (N/mm <sup>2</sup> )	51.5	42.3	13900	21800
		COV (%)	32	18	23	56
		$F_{m,05}$ y $F_{c,0,05}$ (N/mm <sup>2</sup> )	36.7	35.1	-	-
IRAM 9662-2 (2015)	VSG 2	n	9	8	9	8
		valor medio (N/mm <sup>2</sup> )	49.9	38.8	14200	17400
		COV (%)	21	12	16	29
		$F_{m,05}$ y $F_{c,0,05}$ (N/mm <sup>2</sup> )	35.3	31.8	-	-
IRAM 9662-2 (2015)	VSG 3	n	22	22	22	22
		valor medio (N/mm <sup>2</sup> )	38.5	38.1	12400	15600
		COV (%)	28	20	19	42
		$F_{m,05}$ y $F_{c,0,05}$ (N/mm <sup>2</sup> )	28.5	29.8	-	-

(1) Límites de los parámetros visuales correspondientes a los grados resistentes, a: muestra completa, sin límites para los parámetros; b.1: piezas sin médula; b.2: piezas restantes; c.1: piezas sin médula, fisuras que no exceden el máximo establecido en IRAM 9662-2 (2015) y sin grandes defectos; c.2: piezas restantes; VSG 1: los mismos parámetros de c.1 y nudosidad  $K \leq 1/3$ ; VSG 2: los mismos parámetros de c.1 y nudosidad  $1/3 < K \leq 2/3$ ; VSG 3: piezas restantes.

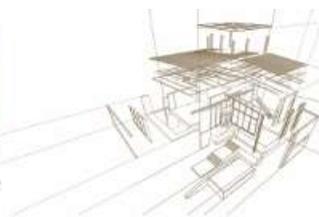
(2) Ajustados a la altura de referencia de 150 mm de acuerdo a la IRAM 9664 (2013).

(3) Corregidos al contenido de humedad de referencia de 12 % de acuerdo a la IRAM 9664 (2013).

(4) n: número de cuerpos de prueba de cada perfil de calidad.

Respecto de la resistencia, la Tabla 1 muestra que  $F_{m,05}$  fue mayor que  $F_{c,0,05}$  con la única excepción de los grados más pobres de cada perfil (b.2, c.2 y VSG 3). También se puede apreciar una mayor resistencia a la flexión que a compresión comparando los valores medios correspondientes, aunque en este caso las diferencias encontradas para las clases más bajas son insignificantes.

En contraste con los resultados de resistencia, el valor medio del módulo de elasticidad obtenido en compresión paralela a la fibra ( $\bar{E}_{c,0}$ ) fue mucho más alto que el obtenido en flexión ( $\bar{E}_{m,g}$ ) para las muestras totales y para todos los grados visuales, con diferencias



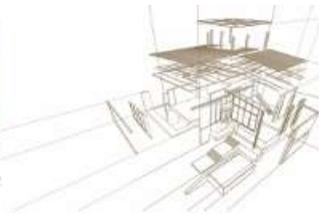
que van del 10% al 57%. Es interesante observar que los valores de COV indican una mayor dispersión de resultados para la resistencia a flexión que para la resistencia a compresión pero, contrariamente, indican una variabilidad mucho mayor de los resultados para el módulo de elasticidad en compresión que para el módulo de elasticidad en flexión.

La comparación de los resultados obtenidos para los grados b.1 y b.2 permite apreciar una influencia similar de la presencia de médula en la resistencia a la flexión y la rigidez.  $F_{m,05}$  fue 19% más alto para b.1 que para b.2 y  $\bar{E}_{m,g}$  fue 15% más alto para b.1 que para b.2. Estas diferencias son congruentes con las encontradas previamente por Sosa Zitto et al. (2009) que informaron que esta característica visual es un parámetro importante de reducción de la resistencia y la rigidez para esta especie de madera. En relación con las propiedades de compresión, la influencia de la presencia de médula fue muy importante en la rigidez, pero fue leve en cuanto a la resistencia.  $\bar{E}_{c,0}$  fue un 53% mayor para b.1 que para b.2, mientras que  $F_{c,0,05}$  fue solo un 5% mayor para b.1 que para b.2 y se obtuvo una diferencia similar al comparar los valores medios de resistencia correspondientes. Al comparar los resultados encontrados para el Perfil c) con los presentados para el Perfil b) es posible apreciar una mayor influencia de grandes fisuras y defectos en la flexión que en las propiedades mecánicas de compresión. Para la flexión, las diferencias entre los resultados obtenidos para c.1 y c.2 aumentaron en comparación con las diferencias encontradas entre los resultados obtenidos para b.1 y b.2. Por el contrario, las diferencias correspondientes disminuyeron en la compresión paralela a la fibra.

Los resultados presentados para los tres grados obtenidos por la clasificación visual de las muestras según el método adoptado por la norma argentina IRAM 9662-2 (2015) permiten apreciar la influencia de la nudosidad (K) tanto en la resistencia a la flexión como a la compresión. El módulo de elasticidad en compresión muestra una clara influencia de K pero, curiosamente, esta influencia no se encontró para el módulo de elasticidad en flexión. Con el propósito de explicar este comportamiento particular, se llevó a cabo un análisis detallado de la correlación entre K y las propiedades mecánicas analizadas. Los resultados mostraron un coeficiente de correlación (R) mucho más bajo entre K y  $E_{m,g}$  ( $R = -0.19$ ) que aquellos encontrados entre K y  $F_m$  ( $-0.38$ ),  $F_{c,0}$  ( $-0.47$ ) y  $E_{c,0}$  ( $-0.34$ ), respectivamente. Estos resultados explican la particular baja influencia de K sobre el módulo de elasticidad en flexión encontrada en este caso.

Con el propósito de verificar el nivel de correlación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión paralela al grano, se realizó un análisis de regresión entre la rigidez y la resistencia con todas las muestras analizadas en este proyecto. Los resultados mostraron solo una modesta correlación entre  $F_{c,0}$  y  $E_{c,0}$  ( $R = 0.35$ ) en comparación con la encontrada entre  $F_m$  y  $E_{m,g}$  ( $R = 0.84$ ). Por otro lado, un análisis de regresión llevado a cabo entre la densidad y la resistencia mostró una correlación mucho mayor entre  $\rho$  y  $F_{c,0}$  ( $R = 0.67$ ) que entre  $\rho$  y  $F_m$  ( $R = 0.34$ ). Los resultados de R encontrados en esta investigación entre  $F_m$  y  $E_{m,g}$  y entre  $F_m$  y  $\rho$  son congruentes con los publicados por Piter et al. (2004a), pero no se encontraron informes con respecto a la correlación entre  $F_{c,0}$  y  $\rho$  o entre  $F_{c,0}$  y  $E_{m,g}$  para esta especie de madera.

Para apreciar mejor la relación encontrada entre las resistencias en flexión y compresión, la relación  $F_{m,05} / F_{c,0,05}$  se presenta frente a  $F_{m,05}$  en la Figura 1.a) para las



muestras completas y para todos los perfiles presentados en la Tabla 1. Con el objetivo de comparar estos resultados experimentales con los calculados según los criterios adoptados por normas y reglas de diseño de diversos países, en la misma figura se grafica la relación  $F_{m,k} / F_{c,0,k}$  según la norma IRAM 9664 (2013); según la relación obtenida a partir de los valores de resistencia característicos proporcionados por las reglas de EEUU (NDS 2005) para el diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) con madera clasificada mecánicamente; y según la relación propuesta por la norma NBR 7190 de Brasil (ABNT 2010).

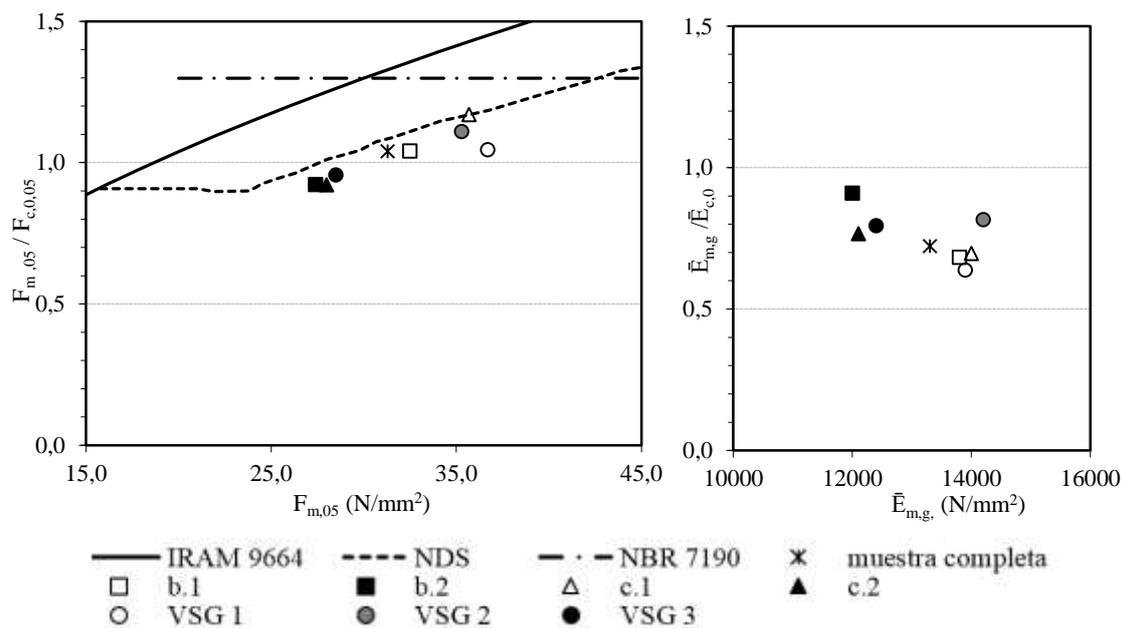


Figura 1. a) Relación  $F_{m,05}/F_{c,0,05}$  de cada perfil b) Relación  $\bar{E}_{m,g}/\bar{E}_{c,0}$  de cada perfil

En la Figura 1.a) se puede apreciar que, con la única excepción de VSG 1, la relación  $F_{m,05}/F_{c,0,05}$  aumenta cuando  $F_{m,05}$  (calidad de la madera) aumenta y solo las proporciones obtenidas para los grados más pobres de cada perfil (b.2: 0.92, c.2: 0.92 y VSG 3: 0.96) resultan menores que 1. Esta figura también muestra que la tendencia general de los resultados experimentales obtenidos en esta investigación es similar a las pendientes de las curvas que representan las relaciones de la normativa argentina y estadounidense y que el comportamiento de esta especie de madera no es congruente con el criterio brasileño (ABNT 2010), el cual adopta una relación constante entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión, independientemente de la calidad de la madera. Es importante señalar que la curva obtenida según NDS (2005) también presenta una primera parte donde se asume una relación prácticamente constante de 0.9 para la madera con  $F_{m,k} < 24.0 \text{ N/mm}^2$ . Sin embargo, considerando que el valor más bajo de  $F_{m,05}$  encontrado en este estudio alcanzó  $27.4 \text{ N/mm}^2$ , no es posible comparar los resultados empíricos con el criterio estadounidense en los niveles de resistencia a la flexión incluidos en la primera parte de la curva. La Figura 1.a) también permite apreciar que los valores de  $F_{m,05} / F_{c,0,05}$  encontrados en este proyecto son más cercanos a los calculados según NDS (2005) que a los obtenidos de acuerdo a la norma argentina IRAM 9664 (2013). La relación encontrada para el grado c.1 (1.17) es igual a

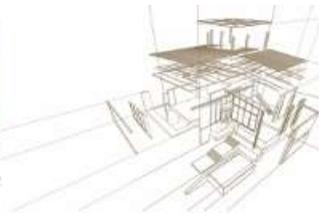


la correspondiente a NDS (2005), mientras que las otras 7 proporciones encontradas en esta investigación son ligeramente menores que las calculadas de acuerdo con el criterio adoptado por la regla de diseño estadounidense. Estas diferencias, que son muy inferiores a las encontradas entre los resultados empíricos y los calculados según la normativa argentina, pueden considerarse aceptables para fines prácticos relacionados con el diseño estructural.

La Figura 1.b) muestra la relación  $\bar{E}_{m,g} / \bar{E}_{c,0}$  frente a  $\bar{E}_{m,g}$  para las muestras completas y para los grados presentados en la Tabla 1. A diferencia de la resistencia, no se aprecia una relación clara entre las variables que se muestran en esta figura. De acuerdo con las reglas de diseño de Argentina (INTI CIRSOC 601 2016) y las de EEUU (NDS 2005), los resultados del módulo de elasticidad obtenidos en los ensayos de flexión también son aplicables al diseño estructural de los miembros cargados axialmente. Por el contrario, la regla de diseño de Brasil (ABNT 2010) adopta ensayos de compresión para determinar la rigidez de la madera aserrada y los resultados también se aplican a los miembros sometidos a flexión. Los resultados presentados en la Tabla 1 y la Figura 1.b) muestran claramente que el uso del módulo de elasticidad en flexión para calcular la deformación de los miembros comprimidos (INTI CIRSOC 601 2016; NDS 2005) sitúan del lado de la seguridad las decisiones relacionadas con las condiciones de servicio en las estructuras construidas con esta especie. Más aún, como  $\bar{E}_{c,0}$  fue del 10% (b.2) al 57% (VSG 1) mayor que  $\bar{E}_{m,g}$ , estas decisiones pueden ser demasiado conservadoras en algunos casos. Por otro lado, la adopción del criterio de Brasil (ABNT 2010) para determinar el módulo de elasticidad puede conducir a un diseño que no satisfaga los requerimientos de servicio de una estructura.

#### 4. CONCLUSIONES

La relación entre las propiedades mecánicas de flexión y compresión se verificó para la madera aserrada de *Eucalyptus grandis* argentino sobre cuerpos de prueba de variada calidad y ensayadas según IRAM 9663 (2013). Los resultados mostraron que, con la única excepción de los grados visuales más pobres, la resistencia a la flexión fue mayor que la resistencia a la compresión y que la resistencia a la flexión aumentó en relación con la resistencia a la compresión cuando aumentó la calidad de la madera. Estos resultados están en línea con el criterio adoptado por las reglas de diseño de Argentina y EEUU pero contrastan con el criterio adoptado Brasil. Los valores de los 5º percentiles obtenidos experimentalmente en este proyecto para la resistencia a la compresión fueron 22% a 39% más altos que los derivados de los resultados de resistencia a la flexión según la aplicación de la norma IRAM 9664 (2013) y, en consecuencia, la adopción de este criterio puede conducir a un diseño excesivamente conservador de miembros comprimidos de esta especie de madera. Los valores medios del módulo de elasticidad obtenidos en compresión paralela a la fibra fueron 10% a 57% más altos que los determinados en la flexión, y no se encontró una relación clara entre estas propiedades. Estos resultados mostraron que el uso del módulo de elasticidad de flexión para calcular la deformación de los miembros comprimidos sitúa del lado de la seguridad la capacidad de servicio de las estructuras construidas con esta especie. Los resultados también mostraron que el uso del módulo de elasticidad de compresión para el diseño de



vigas, de acuerdo con los procedimientos de la norma de Brasil, puede afectar fuertemente los requisitos de servicio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (2010) Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de revisão NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira. Brasil.

Dirección de Producción Forestal. 2016. Argentina: Plantaciones forestales y gestión sostenible. 15 pp. Disponible en <<https://goo.gl/064alb>>, acceso el 23/12/2016.

Glos P. (1995) Solid timber – Strength classes. In: Timber Engineering STEP 1, pp. A7/1-A7/8. Centrum Hout, The Netherlands.

INTA (1995) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Manual para Productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. Grupo Forestal, EEA Concordia, Argentina.

INTI CIRSOC 601 (2016) Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Disposiciones generales y requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera en edificaciones. CIRSOC 601. Buenos Aires.

IRAM 9662-2 (2015) Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia, Parte 2: Tablas de *Eucalyptus grandis*. IRAM 9662-2. Buenos Aires.

IRAM 9663 (2013) Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. IRAM 9663. Buenos Aires.

IRAM 9664 (2013) Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. IRAM 9664. Buenos Aires.

NDS (2005) National Design Specification for Wood Construction. American Forest & Paper Association, Washington.

Piter J.C., Zerbino R. L., Blaß H. J. (2003) 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. (2004a) Machine strength grading of Argentinean *Eucalyptus grandis*. Main grading parameters and analysis of strength profiles according to European standards. *Holz als Roh- und Werkstoff* 62(1): 9-15.

Piter J.C., Zerbino R. L., Blaß H. J. (2004b). Visual strength grading of Argentinean *Eucalyptus grandis*. Strength, stiffness and density profiles and corresponding limits for the main grading parameters. *Holz als Roh- und Werkstoff* 62(1): 1-8.

Sosa Zitto M.A., Torrán E. A., Cuffré A. G., Piter J.C. (2009) Relationship between timber quality and the influence of moisture content above fibre saturation on



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

mechanical properties in beams of fast-growing Argentinean *Eucalyptus grandis*. *Holz als Roh- und Werkstoff* 67(1): 47-53.

Torrán E.A., Sosa Zitto M.A., Gonzalez A. A., Piter J.C. (2008) Creep in beams of Argentinean *Eucalyptus grandis* loaded in unseasoned state. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(3): 201-205.