



## INFLUENCIA DE LA ALTURA DE LA VIGA EN LA RESISTENCIA A FLEXIÓN PARA MADERA ASERRADA DE *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA*

<sup>1</sup> **Roberto D. Manavella** ([rdrmvt@yahoo.com](mailto:rdrmvt@yahoo.com)) <sup>1</sup> **Alfredo A. Guillaumet** ([aaguillaumet@rec.utn.edu.ar](mailto:aaguillaumet@rec.utn.edu.ar)) ,  
<sup>1</sup> **María C. Filippetti** ([cecilia\\_filippetti@hotmail.com](mailto:cecilia_filippetti@hotmail.com))

<sup>1</sup> **Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto (Argentina)**  
Departamento Ingeniería Civil – Grupo GIDEC

**RESUMEN:** El fenómeno de la influencia de la altura de la viga en la resistencia a flexión ha sido estudiado por numerosos autores. Las Normas Europeas, a los efectos de obtener valores comparables, aplican un factor de corrección que tiene en cuenta este comportamiento. En virtud que la corrección propuesta es la misma para todas las especies, es razonable evaluar su aplicabilidad a cada combinación especie-procedencia. En este trabajo se analiza la influencia de la altura de la viga en la resistencia a flexión para madera aserrada de *Araucaria angustifolia* ensayada bajo norma UNE-EN 408. Se examinaron 256 elementos divididos en cinco grupos de diferentes escuadrías. A cada conjunto se lo estudió sin clasificar y clasificado en clases resistentes. Para cada grupo se determinó la resistencia a flexión y se efectuó la corrección propuesta en la Norma UNE-EN 384. Se puede concluir que la corrección propuesta por la Normativa Europea vigente es adecuada para ser utilizada en el cálculo de las tensiones de flexión ajustadas a una altura de referencia para esta especie.

**Palabras Claves:** corrección por altura, *Araucaria angustifolia*, resistencia a flexión.

## INFLUENCE OF BEAM HEIGHT IN BENDING STRENGTH FOR SAWN TIMBER OF *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA*

**ABSTRACT:** The effect of the influence of beam height in bending strength has been studied by many authors. In order to obtain comparable values, European Standards apply a correction factor that takes into account this behavior. As the proposed correction is the same for all species, it is reasonable to check its applicability to every combination species-origin. In this paper, the influence of beam height in bending strength for sawn timber of *Araucaria angustifolia* tested under UNE-EN 408 is analyzed. A total of 256 specimens, divided into five different sizes were examined. Each set was studied both unclassified and classified in strength classes. For each group the bending strength was determined and the correction given by the UNE-EN 384 was made. It can be concluded that the correction proposed by the European Norms in force is suitable to be used in the calculation of bending stresses adjusted to a reference height for this species.

**Keywords:** Height correction, *Araucaria angustifolia*, bending strength.

## 1.- INTRODUCCION

Diversos estudios realizados, desde los más antiguos, a inicios del siglo XX hasta los actuales, coinciden en afirmar que la resistencia de cualquier elemento estructural de madera sometido a esfuerzo de flexión se ve influenciada por el volumen de la pieza ensayada. Se ha estudiado tanto el efecto de la altura de la pieza como el ancho o espesor.

Los primeros trabajos de NEWLIN y TRAYER (1924), ya establecían que el valor de la tensión de flexión disminuía gradualmente a medida que se incrementaba la altura de la viga y proponía factores de corrección para ese efecto.

La mayoría de las investigaciones coinciden en darle suma importancia a la influencia del canto de la probeta en los valores de resistencia a flexión, estableciendo que a medida que aumenta la altura, disminuye el valor de resistencia.

Otros autores han estudiado el efecto del ancho de la pieza en la resistencia a flexión, con resultados dispares, tal es el caso de los trabajos de BÖSTROM (1994a) (1999b) y de MADSEN, B. (1992), ambos citados por HERMOSO et al. (2002). BÖSTROM al estudiar madera estructural de *Picea abies* determinó que no había influencia significativa del espesor de la pieza sobre las tensiones, en tanto que MADSEN investigando sobre madera de *Abeto Douglas* estableció que el mayor espesor de la pieza tenía efecto positivo sobre los valores de tensiones, ya que al aumentar el ancho del elemento estructural aumentaba la resistencia a flexión.

HERMOSO et al. (2002) en su trabajo sobre madera aserrada de pino silvestre, al analizar el efecto de volumen, concluye que al aumentar el volumen de la viga disminuye la resistencia a flexión, influyendo de manera significativa la altura de la pieza pero no el espesor.

El efecto del tamaño sobre los valores de resistencia a flexión y en especial la influencia de la altura de la pieza sobre los valores de tensión, han sido tenido en cuenta en la redacción de diversas Normas, en particular en la norma europea UNE-EN 384. Esta norma establece en el punto 5.3.4.3 "Medidas de la pieza y longitud de ensayo" que el 5º percentil de la resistencia a flexión y a tracción debe corregirse a un canto de referencia de 150 mm dividiendo por el factor de corrección  $kh$ , que viene dado por la siguiente ecuación  $kh = (150/h)^{0.2}$ . Este factor de corrección por altura ya había sido incorporado en la versión de la norma del año 1995 y se mantiene sin modificaciones en la versión 2010. Esta norma para madera aserrada plantea sólo corrección por altura no incorporando ninguna por ancho de la pieza. El coeficiente propuesto es de carácter general y no tiene en cuenta otros posibles factores que pueden estar afectando el valor de resistencia, tales como, clasificación de la madera, método de clasificación, especie forestal y procedencia, entre otros.

FERNANDEZ, GOLFIN et al. (2002) estudió la influencia del tamaño sobre madera de *pino laricio* y *pino silvestre* de procedencia española, determinando que la influencia de la altura y el espesor del elemento estructural sobre la resistencia característica a flexión son significativas en ambas especies, pero de distinta valoración entre ellas, lo que lo induce a establecer que el efecto de la especie también es significativo y debe evaluarse, poniendo en duda el uso de un factor de corrección único para todas las especies. Además señala que para ambas especies el efecto del espesor es significativo y no debería ser ignorado por la normativa europea.

PITER (2012) en una investigación sobre madera aserrada de uso estructural de *Eucalyptus grandis* establece que es aplicable la corrección adoptada por las normas europeas en esa especie a los efectos de tener en cuenta el efecto de altura en el cálculo de la resistencia a flexión.

En este trabajo se estudia la influencia del tamaño de la probeta, en particular el efecto de la altura del elemento estructural, en los valores de resistencia a la flexión para madera de *Araucaria angustifolia*, Pino Paraná, y se analiza la aplicabilidad de la corrección propuesta por la UNE-EN 384.

## 2.- MATERIALES Y MÉTODOS.

El estudio se realizó sobre madera aserrada de *Araucaria angustifolia*. La totalidad de las piezas ensayadas fueron extraídas de especímenes de Pino Paraná cultivados en la zona de Eldorado, provincia de Misiones, Argentina. El muestreo se realizó sobre depósitos de expendedores de madera de la Ciudad de Venado Tuerto, Santa Fe, Argentina. Cada probeta se seleccionó aleatoriamente de acopios acondicionados para la comercialización.

Las 256 vigas de Pino Paraná fueron ensayadas en tamaño estructural y de acuerdo a Normativa Europea, en el Laboratorio de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Venado Tuerto. Se trabajó sobre cinco series de vigas de diferentes largos y escuadrías según se detalla:

- Serie 1: 56 probetas de 2" x 3" x 2 metros de largo.
- Serie 2: 50 probetas de 2" x 4" x 2,5 metros de largo.
- Serie 3: 50 probetas de 2" x 5" x 3,2 metros de largo.
- Serie 4: 50 probetas de 2" x 6" x 3,2 metros de largo.
- Serie 5: 50 probetas de 3" x 6" x 3,2 metros de largo.

Las vigas aserradas fueron cepilladas y almacenadas según norma hasta su estabilización, tras lo cual se efectuó el relevamiento de defectos según indica la Norma UNE-EN 1310:1997.

Se determinaron las dimensiones reales de la sección transversal de las probetas con calibre de una precisión de 0,1 mm, se utilizó la media de tres mediciones, efectuadas una en cada extremo y una en el centro, tanto para ancho como para canto. La longitud se midió sobre el eje longitudinal central, con precisión de 1 mm.

Para las fisuras se midió la profundidad y el ancho mediante una lupa óptica con 0,1 mm de precisión, en las cuatro caras de cada probeta. Se registró si tenía médula y su posición. Se describió el tipo de corte, sea central con médula, radial, tangencial o intermedio; tanto en los dos extremos como en el trozo cortado cercano a la zona de rotura.

Se completó la observación visual indicando para cada probeta, arista faltante, manchas e inclinación de la fibra. Se relevaron las deformaciones tales como combado, encorvado, torcedura.

La medición de los nudos, ubicación y dimensiones, se registró en todas las caras de las probetas, ignorando los de dimensión menor a 5 mm, describiendo si eran o no de arista, forma, color, y toda característica relevante. Para cuantificar el tamaño del nudo se utilizó la dimensión del mismo entre paralelas al eje longitudinal.

Se procedió a la clasificación visual de acuerdo a lo propuesto en el trabajo de investigación "Clasificación Visual Resistente de la *Araucaria angustifolia* procedente de Eldorado, Misiones, Argentina", presentado en el "III Congreso Iberoamericano De Productos Forestales y No Forestales", GUILLAUMET *et al.* (2007). Dicho trabajo presenta los criterios para establecer tres clases resistentes basados en la existencia de médula y la nudosidad, parámetros que considera determinantes para establecer los límites entre clases. Se completa la clasificación con lo establecido en la norma UNE EN 14081-1:2006.

La presencia de médula constituye el primer elemento para la clasificación visual, debido a que su presencia separa las clases 2 y 3 de la clase 1. La nudosidad, evaluada a través del porcentaje que ocupa el grupo de nudos en relación a la cara donde se manifiesta, se transforma en el segundo parámetro en importancia para establecer la división.

La clasificación visual propuesta y utilizada en este trabajo puede resumirse así:

Clase 1 no se admite médula y se acepta grupo de nudos hasta el 40 % de la cara donde se manifiesta.

Clase 2 admite médula y se acepta grupo de nudos hasta el 60 % de la cara donde se manifiesta.

Clase 3 admite médula con grupo de nudos mayores al 60 %. Esta clase constituye la madera de descarte o rechazo.

Luego de la clasificación visual, se realizó el ensayo a flexión, de acuerdo a las prescripciones de la Norma Europea UNE-EN 408.

Las probetas tenían una longitud mínima de 19 veces la altura nominal de la sección, se ensayaron como simplemente apoyada con una luz igual a 18 veces el canto nominal y la aplicación de las cargas de flexión se materializó sobre dos puntos simétricos a una distancia igual a 6 h. Las piezas fueron ensayadas con los defectos en la posición más desfavorable.

Se colocaron topes laterales en el centro y extremos de la probeta para evitar el vuelco o pandeo lateral, especialmente en las de mayor esbeltez. La carga de ensayo se aplicó mediante una prensa con una velocidad constante que no superó los 0,003 de la altura en mm/seg. y se registró la fuerza aplicada a través de una celda de carga máxima 5000 N y lectura mínima 5 N. El tiempo de ensayo se registró hasta la rotura de la probeta, que en todos los casos ocurrió en  $(300 \pm 120)$  seg, de acuerdo a lo fijado por norma. Las deformaciones se determinaron a través de dos comparadores de precisión de 0,01 mm.

Luego del ensayo de cada probeta se seccionó una porción transversal completa libre de nudos de la zona cercana a la rotura, se cubió, se pesó con balanza electrónica y se lo secó hasta peso constante en estufa eléctrica a 103 °C. Se determinó el contenido de humedad aplicando el método de secado por estufa según lo indica la norma IRAM 9532.

Se verificó que el contenido de humedad esté comprendido entre el 10 % y 18 % y se descartaron las probetas que se encontraban fuera de ese rango.

Se determinó la resistencia a la flexión ( $f_m$ ) y el Módulo de Elasticidad Local en flexión ( $E_{m,i}$ ).

Los resultados de los ensayos fueron ajustados a las condiciones de referencia detalladas en la Norma UNE-EN 384:1995. Se corrigió el valor del módulo de elasticidad y la densidad en aquellas probetas con contenido de humedad distinto al valor de referencia del 12 %.

Se efectuaron las correcciones en los valores de resistencia a la flexión a un canto de referencia de 150 mm, dividiendo el valor obtenido en el ensayo por el coeficiente dado por la ecuación (1).

$$k_h = \left( \frac{150}{h} \right)^{0,2} \quad (1)$$

$k_h$  Coeficiente de corrección para ajustar a canto de referencia

$h$  Canto de la probeta en milímetros

### 3.- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se efectúa un análisis preliminar haciendo una regresión lineal con la totalidad de las probetas sin corrección. En la fig. 1 se muestra el gráfico altura de la probeta -resistencia a flexión para todas las series. Se decidió trabajar con valores medios de resistencia a la flexión en lugar del valor 5º Percentil por considerar que representan mejor a la población y disminuyen el efecto de las cantidades de vigas relativamente bajas en algunas de las clases.

En el gráfico pueden visualizarse la distribución de las diferentes series ensayadas. En las series 1 y 2 se observa una mayor dispersión de los valores de resistencia a la flexión que en las serie 3, 4 y 5. En la serie 3 se aprecia una mayor dispersión en los valores de altura, fenómeno que se repite en la serie 2, generando en la práctica dos sub-series. Las series 4 y 5, de diferentes espesores e igual altura, se comportan prácticamente como una única serie.

No se observa, en esta primera gráfica una tendencia a la disminución de la tensión de flexión a medida que aumenta el canto de la viga.

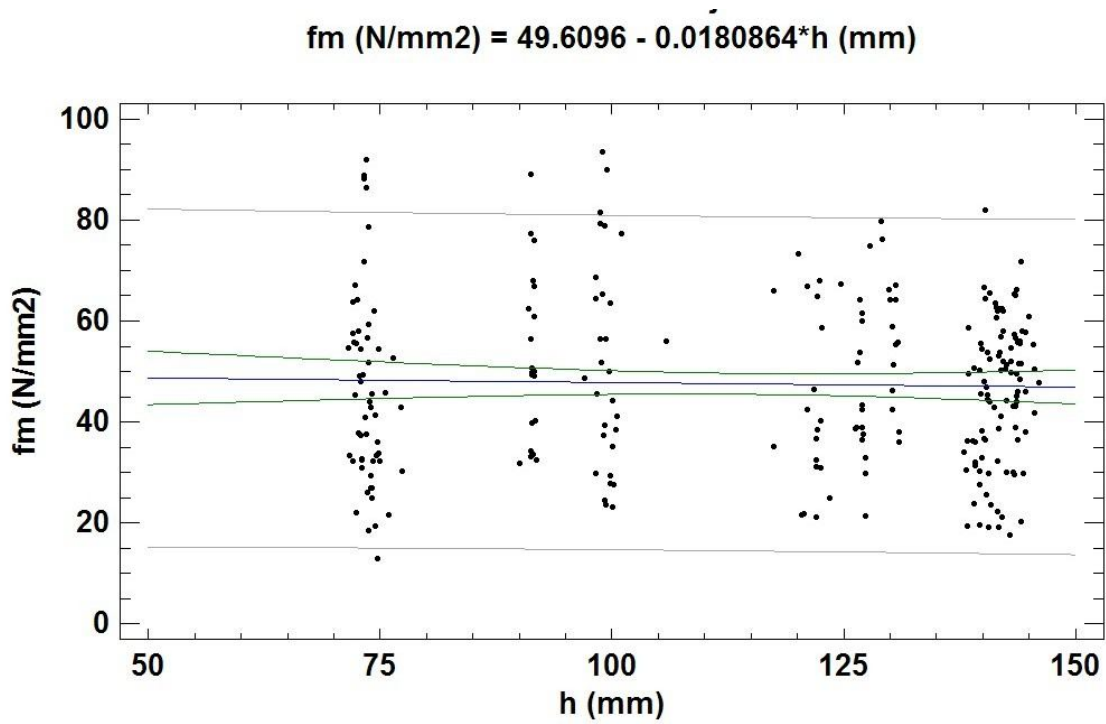


Figura 1: Gráfico resistencia a flexión sin corregir ( $f_m$ )/ altura ( $h$ ), para la totalidad de las probetas

Dado que la clase 3 clasifica como madera de rechazo o descarte, y puede estar introduciendo una dispersión importante, se realiza un segundo análisis solo con la clase 1 y clase 2 que constituyen el lote de madera de uso estructural. Con esta nueva propuesta se obtiene el gráfico que se observa en la figura 2.

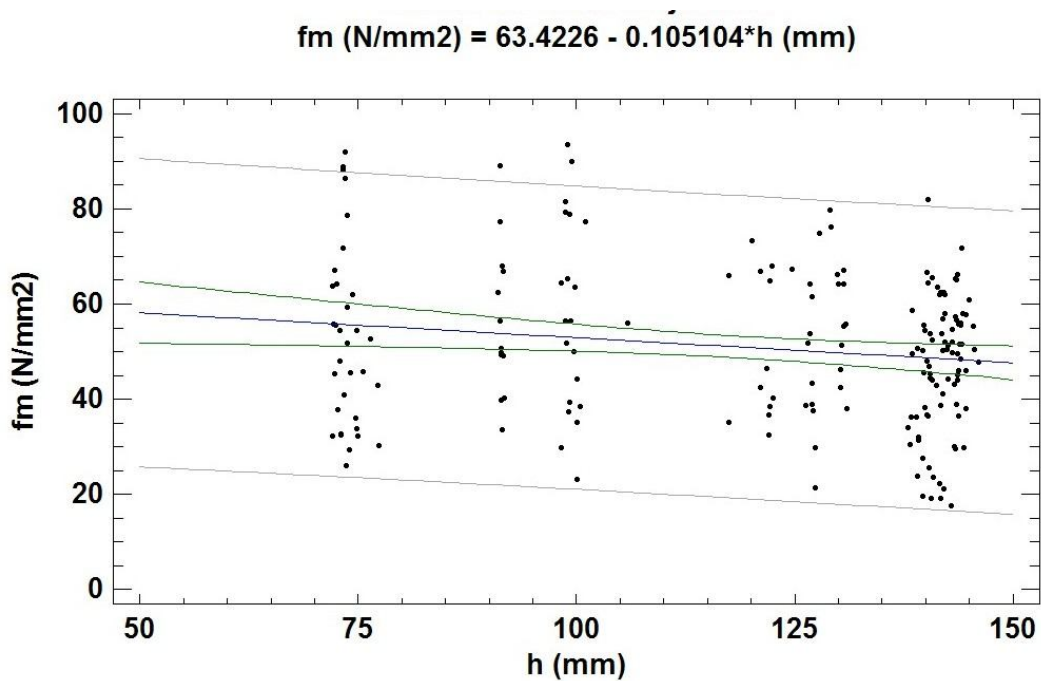


Figura 2: Gráfico resistencia a flexión sin corregir ( $f_m$ )/ altura ( $h$ ) para clases 1 y 2

En el gráfico de la figura 2 se aprecia, además de las particularidades señaladas anteriormente, que la resistencia a la flexión tiende a disminuir a medida que la altura de la probeta aumenta.

Para todas las probetas de las clases 1 y 2 se efectuó la corrección propuesta por la norma UNE-EN 384:2010 a un canto de referencia de 150 mm aplicando la ecuación (1) ya vista, obteniéndose los valores de resistencia a flexión corregidos ( $f_{m,150}$ ). El gráfico resultante es el que se muestra en la figura 3.

$$f_{m,150} \text{ (N/mm}^2\text{)} = 49.4044 - 0.00955678 \cdot h \text{ (mm)}$$

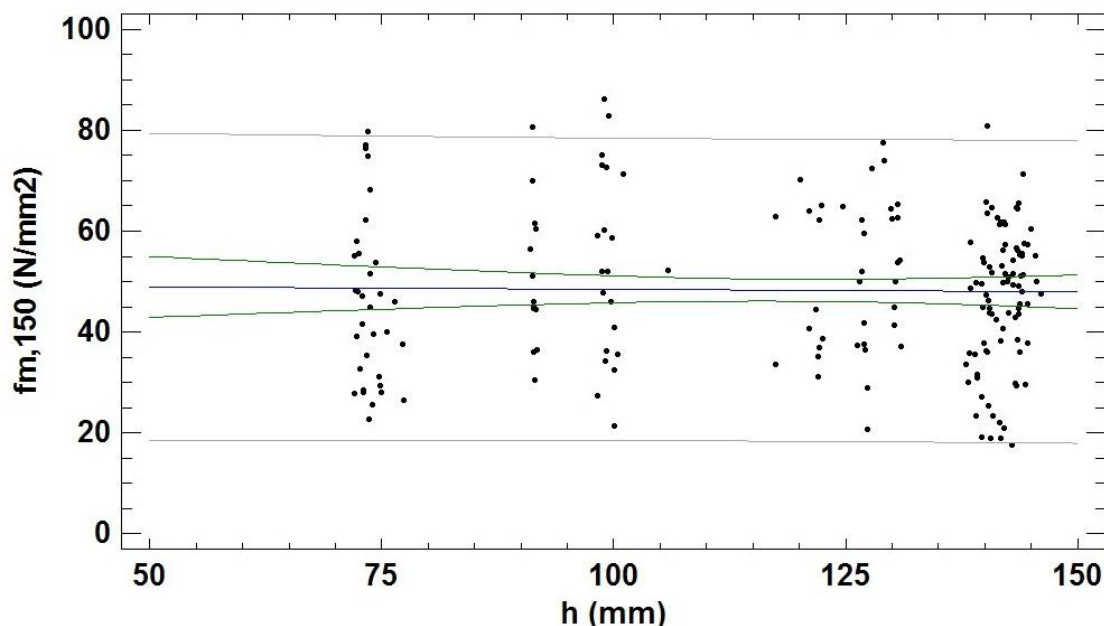


Figura 3: Gráfico resistencia a flexión corregida ( $f_{m,150}$ )/ altura ( $h$ ) para clases 1 y 2

Se observa que la recta de regresión es casi horizontal con un valor cercano a 49 N/mm<sup>2</sup>, y que en la ecuación de la recta el término en el que interviene la altura tiene influencia casi nula.

TABLA 1: Resumen de valores de resistencia a flexión para cada serie

Serie	Nº probetas	Altura nominal	Ancho Nominal	Resist.Flexión ( $f_m$ )	R. Flexión Correg. ( $f_{m,150}$ )
		mm	mm	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	33	75	50	52,68	45,69
2	36	100	50	52,81	51,01
3	35	125	50	56,54	51,75
4	44	150	50	46,83	46,28
5	43	150	75	47,22	46,75
<b>Prom:</b>				51,21	48,29

En la Tabla 1 se muestran los valores de resistencia a la flexión obtenidos experimentalmente ( $f_m$ ) y los valores corregidos a un canto de referencia de 150 mm ( $f_{m,150}$ ), tal como se propone en la UNE EN 384 punto 5.3.4.3, para cada una de las series estudiadas, sin clasificar.

En la columna de la resistencia a la flexión corregida puede observarse que la serie 1 muestra valores cercanos a los valores de las series 4 y 5 que representan las series de referencia, y que las serie 2 y 3 presentan valores del orden del 10 % por encima. En los valores corregidos se aprecia, en general, una tendencia a acercarse a los valores de las series 4 y 5, series de referencia.

Al analizar los valores obtenidos para las series 4 y 5, series de igual altura y diferente espesor, se visualiza que los valores de tensiones para cada serie son prácticamente iguales con diferencias del orden del 1% lo que indicaría que el ancho o espesor de la pieza no tiene una marcada influencia en el valor de las tensiones de flexión.

En la Tabla 2 se muestra el valor de la resistencia a la flexión sin corregir y corregidos clasificados por serie y por clase.

**TABLA 2: Resumen de valores de resistencia a flexión para cada serie**

Serie	Altura nominal	Clase 1			Clase 2		
		n	Resist.Flexión( $f_m$ )	R. Flexión Corr.( $f_{m,150}$ )	n	Resist.Flexión( $f_m$ )	R. Flexión Corr.( $f_{m,150}$ )
	mm		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
1	75	6	51,67	44,79	27	52,90	45,89
2	100	6	62,36	60,08	30	50,90	49,19
3	125	5	58,16	53,40	30	56,27	51,47
4	150	12	48,36	47,80	32	46,26	45,71
5	150	15	53,56	53,04	28	43,82	43,38
<b>Tot/Prom:</b>		44	54,82	51,82	147	50,03	47,13

En la clase 2, se observa que los valores de la serie 1 se aproximan a los valores de las series de referencia, en tanto que los valores de las series 2 y 3 dan valores un poco más altos, entre el 10 y el 14 %. En la clase 1, se observa una mayor dispersión en los valores de las series de referencia del orden del 10 % y un valor particularmente alto para la serie 2. Es probable que este comportamiento este dado principalmente debido a la poca cantidad de probetas que clasifican en clase 1.

A continuación se relacionan los valores de la resistencia a flexión de cada serie con el valor promedio de la resistencia a flexión de las serie 4 y 5, establecidas como series de referencia.

Se realizan los cálculos para el total de la muestra y para las clases 1 y 2 de uso estructural. En la Tabla 3 se muestran los valores correspondientes.

**TABLA 3: Valores de la relación entre la resistencia a flexión de cada serie y el promedio de la resistencia a flexión de las series 4 y 5**

Serie	h (mm)	Clase 1	Clase 2	Total
1	75	0,89	1,03	0,98
2	100	1,19	1,10	1,10
3	125	1,06	1,16	1,11
4	150	0,95	1,03	0,99
5	150	1,05	0,97	1,01

Se visualiza que para el total de la muestra sin clasificar las relaciones obtenidas oscilan entre 0.98 y 1,11. El comportamiento de la clase 1 presenta mayor dispersión variando entre 0.89 y 1,19, variación que resulta influenciada por el escaso número de probetas que han clasificado en dicha clase. La clase 2 presenta un comportamiento intermedio con relaciones entre 0,97 y 1,16.

En el gráfico de la figura 4 se muestran las relaciones señaladas para la clase 1, la clase 2 y para la muestra sin clasificar.

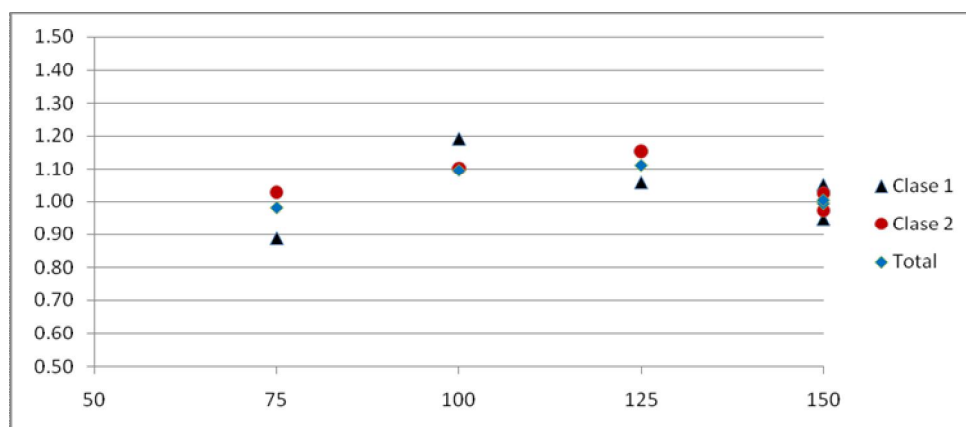


Figura 4: Gráfico con valores de relación entre la resistencia a flexión de cada serie y el promedio de la resistencia a flexión de las series 4 y 5

Puede observarse que los valores oscilan alrededor del valor 1, con un máximo de 1,19 en la serie 2 de la clase 1 y un mínimo de 0,89 para la serie 1 de la clase 1.

#### 4.- CONCLUSIONES

Para la *Araucaria angustifolia*, Pino Paraná, se observa una disminución de la resistencia a flexión a medida que aumenta la altura de la pieza coincidiendo con los resultados de estudios previos de varios autores.

El factor de altura  $K_h$  propuesto por la UNE-EN 384 permite ajustar los valores de resistencia a la flexión disminuyendo la influencia de la altura de la viga, permitiendo obtener valores comparables.

Del análisis de las series 4 y 5 de igual altura y distintos espesores se deduce que la influencia del ancho de la probeta es de menor cuantía que el efecto de altura.

Para calibrar la expresión propuesta en la UNE-EN 384 para esta especie en particular, debe aumentarse de manera significativa el número de ensayos.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NEWLIN, J A & TRAYER, G W.(1924) **The influence of the form of a wooden beam on its stiffness and strength II : form factors of beams subjected to transverse loading only.** UNT Digital Library. <http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc65831/m1/17/>. Pág. 15.
- BÖSTROM L., 1994. **Machine strength grading: comparison of four different systems.** Swedish National Testing and Research Institute, Building Technology SP Report 1994: 49.
- BÖSTROM L., 1999. **Determination of the modulus of elasticity in bending of structural timber - comparison of two methods.** Swedish National Testing and Research Institute, Holz als Roh 57. 145-149.
- MADSEN, B. (1992). **Structural behaviour of timber.** Timber Engineering LTD. ISBN 0-9696162-0-1.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE-EN 384-1995. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.** Madrid. España. 1995.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE-EN 384-2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.** Madrid. España. 2010. 19 págs.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE-EN 338-2010. Madera estructural. Clases Resistentes.** Madrid. España. 2010. 19 págs.



- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN **UNE-EN 1310-1997. Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las singularidades.** Madrid. España. 1997.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN **UNE-EN 408-2011. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.** Madrid. España. 2011.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN **UNE-EN 14081-1:2006. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales.** Madrid. España. 2006
- INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION.**IRAM 9532. Maderas. Método de determinación del contenido de humedad.** Buenos Aires. Argentina. 1963. 13 páginas.
- FERNANDEZ-GOLFÍN J.I., HERMOSO E., DIEZ M.R. 2002. **Análisis del efecto del volumen sobre la resistencia característica a flexión de la madera de los pinos silvestre y laricio de procedencia española.** Materiales de construcción. Vol. 52. Nº 268 - octubre-noviembre-diciembre 2002. Pág. 43-55.
- HERMOSO E. , FERNÁNDEZ-GOLFÍN J.I., DÍEZ M.R.2002. **Análisis del factor de altura kh en la madera aserrada estructural de pino silvestre.** Ed INIA.Investigacion agraria.Serie Recursos Forestales. Vol 11(2) Pág. 441- 447.
- 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. Holz als Roh- und Werkstoff. ISSN 0018-3768. Volume 70 Combined 1-3, pag.17-24.
- 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.**(ISSN1851-0973). Edutecne -Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. 2007.

#### **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Los autores son los únicos responsables por el contenido de este trabajo.