

# INFLUENCIA DE ALGUNOS PARÁMETROS VISUALES EN LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN PARALELA DE PIEZAS DE MADERA DE PINO DE PLANTACIONES URUGUAYAS

## INFLUENCE OF VISUAL PARAMETERS ON TENSION AND COMPRESSION PROPERTIES OF URUGUAYAN PINE LUMBER

Andrea Cardoso <sup>(1)</sup>, Laura Moya <sup>(2)</sup>, Hugo O'Neill <sup>(1)</sup>

(1) Gerencia IDI, Laboratorio Tecnológico del Uruguay

(2) Facultad de Arquitectura Universidad ORT Uruguay

Dirección de contacto: moya@ort.edu.uy

**Código de identificación: T3-28**

### Resumen

Presencia de médula, número de anillos de crecimiento por centímetro y tamaño de nudo, son parámetros visuales usualmente relacionados con la calidad estructural de una pieza de madera. El objetivo del trabajo fue determinar la influencia de estas tres variables sobre la resistencia de tracción y de compresión de piezas de madera de pino de plantaciones uruguayas. Se analizaron dos muestras de madera de tamaño estructural (50 x 150 x 3300 mm), provenientes de dos plantaciones comerciales del noreste del país: M1 de *Pinus taeda* de 14 años, y M2 de *Pinus elliottii* de 27 años. Fueron clasificadas en el grado estructural EC7, según una propuesta preliminar de clasificación visual para pino del noreste de Uruguay, 43 piezas de M1 y 49 de M2. Las piezas de M1 y M2 fueron ensayadas en tracción y compresión paralela de acuerdo a NCh 3028/1, y sus resistencias de tracción ( $f_{t,0}$ ) y de compresión ( $f_{c,0}$ ) determinadas. M1 presentó valores medios de resistencias ( $f_{t,0,med}=14,64$  MPa;  $f_{c,0,med}=21,04$ MPa) menores que los correspondientes de M2 ( $f_{t,0,med}=16,76$  MPa;  $f_{c,0,med}=24,54$ MPa). La presencia de médula, observada en 91% de piezas de M1 y en 38% de las de M2, influyó en la reducción de  $f_{t,0}$  (9%) y  $f_{c,0}$  (16%) para M2. El número de anillos por centímetro tuvo mayor influencia sobre  $f_{c,0}$  ( $R^2=0,46$ ) que sobre  $f_{t,0}$  para M2, mientras que el tamaño de nudo tuvo mayor influencia sobre  $f_{t,0}$  que  $f_{c,0}$ . El nudo de canto presentó mejor relación con las resistencias en M1 y el nudo de cara explicó mejor la variabilidad en M2.

**Palabras clave:** *Pinus elliottii*; *P. taeda*; madera estructural de Uruguay; médula; anillos de crecimiento; nudosidades

### Abstract

*Pith, number of growth ring per centimeter and knot size are visual parameters usually related with the structural quality of timber. The aim of this study was to determine the influence of these variables on tension and compression parallel to grain strength of Uruguayan pine lumber. Two representative samples comprised of structural size specimens (50 x 150 x 3300 mm), from two commercial plantations: M1, a 14-year-old Pinus taeda, and M2 a 27-year-old Pinus elliottii were analyzed. 43 and 49 pieces from M1 and M2 respectively, were graded and grouped in one visual class, named "EC7". The pieces were then, tested in tension and compression parallel to grain according to NCh 3028/1 and their respective strength determined. M1 showed mean strength values lower than those of M2. Pith presence, observed in 91% of pieces of M1 and in 38% of M2, significantly decrease the mechanical properties of M2. Number of growth ring per centimeter had greater impact on compressive strength compared to the effect on tension strength, for M2. Knot size showed influence just on tension strength; specifically, edge knot explained the strength behavior of M1 specimens, while face knot, the respective strength of M2 pieces.*

**Keywords:** *Pinus elliottii*; *P. taeda*; Uruguayan structural timber; pith; growth ring; knots

## 1. INTRODUCCIÓN

El grupo de investigación en madera estructural LATU-FING-ORT viene trabajando en la elaboración de una propuesta nacional de clasificación visual estructural de la madera de pino de plantaciones uruguayas. En un reciente trabajo para madera de *Pinus elliotti/P. taeda* del noreste de Uruguay, se definió la calidad visual EC7 con propiedades físicas y mecánicas asociadas a la clase resistente C14 de la norma europea EN 338 [1].

Varios autores indican que la presencia de medula, las nudosidades y el ancho de los anillos de crecimiento influyen sobre las propiedades mecánicas de la madera de pino [2][3][4][5].

El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de la médula, del número de anillos de crecimiento y del tamaño y ubicación de las nudosidades sobre las resistencias de tracción y de compresión paralela a la fibra de la madera de pino de plantaciones uruguayas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La madera utilizada en este trabajo provino de plantaciones y aserraderos de dos empresas comerciales del noreste de Uruguay: M1 de *Pinus taeda* de 14 años, y M2 de *Pinus elliottii* de 27 años. De la línea de producción de ambos aserraderos, fueron seleccionadas 181 piezas (93 de M1 y 88 de M2), cuyas dimensiones promedio luego del secado en horno hasta 12% de contenido de humedad (CH) y del cepillado fueron de 50 x 150 x 3300 mm. Las piezas fueron luego trasladadas al Laboratorio Tecnológico del Uruguay para su clasificación visual y posterior preparación para el sometimiento al programa de ensayos.

### 2.1 Clasificación visual

Sobre cada una de las piezas se midió una serie de parámetros visuales y se compraron los valores con los límites indicados en la propuesta de clasificación visual para madera de pino del noreste de Uruguay (Tabla 1).

Tabla 1: Propuesta de clasificación visual para madera aserrada de *Pinus elliotti/P. taeda* del noreste de Uruguay

Parámetros visuales	Calidad visual EC7
Diámetro de nudo mayor de cara (%)	< 1/3 h (30%)
Diámetro de nudo mayor de canto (%)	< 2/3 h (70%)
Número de anillos por centímetro	> 0,7 anillos/cm
Médula	Se admite
Combado	Menor a 15 mm en 2 m de largo
Encorvadura	Menor a 9 mm en 2 m de largo
Torcedura	Menor a 8 mm en 150 mm de h en 2 m de l
Grietas y rajaduras	< 1,0 m o <1/4 l (*)
Bolsillo de resina	< 1,5 h (*)
Corteza	< 1,5 h (*)
Arista faltante	< 1/3 l (*)
Pudriciones	No se admite (*)
Mancha azul	Se admite (*)
Orificios de insectos	No se admite (*)
Las piezas deben ser clasificadas en seco (CH = 12%).	
(*) De acuerdo a UNE 56544 (2011); h=150 mm y l=2,8 m.	

La medición de la mayoría de los parámetros visuales se realizó de acuerdo a la norma española de clasificación visual para coníferas UNE 56544 [6]. El ancho máximo del anillo de crecimiento (leño temprano y leño tardío) se determinó como la relación entre la longitud de una recta trazada perpendicularmente a los anillos de crecimiento y el número de anillos presentes. Dado que esta medición se utiliza para determinar presencia de madera juvenil, se midieron los 5 primeros anillos más cercanos a la médula, Fig 1.

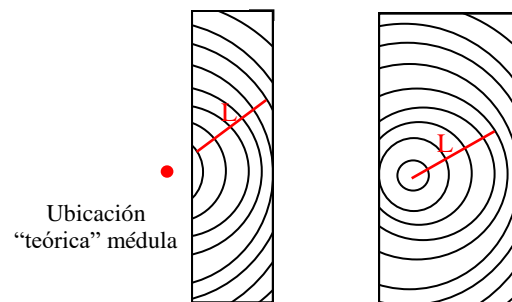


Figura 1: Medición del ancho de los anillos de crecimiento

## 2.2 Ensayos mecánicos

Luego de clasificadas, el conjunto de piezas fue dividido en dos grupos, embalados en film de polietileno y enviados al Instituto Forestal INFOR de Concepción en Chile para ensayos de compresión y tracción paralela a la fibra. La Tabla 2 indica la cantidad de cuerpos de prueba destinados a cada tipo de ensayo, discriminados por muestreo. La configuración de los ensayos se ilustra en la Fig. 2.

Tabla 2: Cantidad de probetas por muestreo y tipo de ensayo

Tipo de ensayo	Muestreo	Cantidad de cuerpos de prueba (n)	Dimensiones promedio (mm)
Compresión paralela	M1	46	150 x 50 x 3200
	M2	43	
	<b>Total</b>	<b>89</b>	
Tracción paralela	M1	47	150 x 50 x 3200
	M2	45	
	<b>Total</b>	<b>92</b>	



Figura 3: Configuración de ensayos. Sup: compresión paralela. Inf: Tracción paralela

Los ensayos de compresión paralela fueron realizados de acuerdo a NCh 3028/1[7] en una máquina de ensayo con un marco de carga/reacción de compresión diseñado para una capacidad de 400 kN, con un cilindro hidráulico marca Enerpac de 300 kN de capacidad. La adquisición de datos se realizó en forma digital directa a PC mediante un transductor de presión continua con frecuencias superiores a 100 datos por segundo. Para cada pieza fue determinada la tensión de rotura de compresión ( $f_{c,0}$ ) de acuerdo a:

$$f_{c,0} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{b \times d} \quad (1)$$

donde  $P_{m\acute{a}x}$  es la carga máxima;  $b$  y  $d$  son el ancho y espesor de la probeta, respectivamente.

Los ensayos de tracción paralela fueron realizados de acuerdo a NCh 3028/1 [7], en una máquina de ensayo Metriguard 403, con una celda de carga de 500 kN, con un sistema compuesto por dos cilindros hidráulicos marca Enerpac de 500 kN de capacidad. La adquisición de datos se realizó en

forma digital directa a PC mediante un transductor de presión de 60 MPa de capacidad y 6,9 kPa de sensibilidad. Para cada pieza fue determinada la tensión de rotura de tracción ( $f_{t,0}$ ) de acuerdo a:

$$f_{t,0} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{b \times d} \quad (2)$$

donde  $P_{m\acute{a}x}$  es la carga máxima;  $b$  y  $d$  son ancho y espesor de la probeta, respectivamente

Sobre todas las piezas se realizó el promedio de tres mediciones de CH determinado con medidor de resistencia eléctrico, y se estimó la densidad aparente corriente de acuerdo a:

$$\rho = \frac{m}{(b \times d \times L)} \quad (3)$$

donde  $b$ ,  $d$ ,  $L$  y  $m$  son ancho, espesor, largo y masa de la probeta, respectivamente.

### 2.3 Análisis de datos

El análisis de datos se realizó con el programa estadístico Infostat [8], empleando coeficientes de correlación de Spearman, de asociación basada en rangos, que permite analizar variables discretas o continuas no necesariamente normales [9].

Se utilizaron coeficientes de Spearman y comparación de medias según prueba no paramétrica de Wilcoxon, para analizar la influencia de la médula, del número de anillos de crecimiento y del tamaño de nudos en las piezas clasificadas “EC7”.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del total de piezas analizadas de los dos muestreos, 92 fueron clasificadas como “EC7” y 89 fueron rechazadas según los criterios establecidos en la Tabla 1.

### 3.1 Comparación de propiedades entre muestreos

La Tabla 3 muestra los resultados de los ensayos estáticos y densidad de las piezas clasificadas EC7.

Tabla 3: Propiedades de tracción y compresión paralela a la fibra para piezas clasificadas EC7

Muestreo <sup>a</sup>	Tracción paralela					Compresión paralela				
	n	$f_{t,0,med}$	$f_{t,0,k}$	$\rho_{med}^b$	$\rho_k^b$	n	$f_{c,0,med}$	$f_{c,0,k}$	$\rho_{med}^b$	$\rho_k^b$
		[MPa]		[kg/m <sup>3</sup> ]			[MPa]		[kg/m <sup>3</sup> ]	
M1	23	14,64	5,81	405	343	20	21,04	17,18	408	361
M2	25	16,76	10,26	442	391	24	24,54	20,12	467	404

<sup>a</sup>M1 y M2: madera de *P. taeda* de 14 años y de *P. elliottii* de 27 años, respectivamente  
<sup>b</sup>Referidos al 12% de CH  
 $f_{t,0,med}$ : valor medio de resistencia de tracción paralela a la fibra  
 $f_{t,0,k}$ : percentil 5% de la resistencia de tracción paralela  
 $f_{c,0,med}$ : valor medio de resistencia de compresión paralela  
 $f_{c,0,k}$ : percentil 5% de la resistencia de compresión paralela  
 $\rho_{med}$ : valor medio de la densidad  
 $\rho_k$ : percentil 5% de la densidad

Los resultados de los análisis estadísticos indicaron que no existe diferencia significativa entre los valores de resistencia de tracción de ambos muestreos (p-valor >0,05). Sin embargo, los valores de resistencia a compresión y de densidad de M1 fueron significativamente menores que los respectivos de M2 (p-valor < 0,05).

Estos resultados están en línea con lo reportado por Moya et al. [10] que sugirió que las diferencias de las propiedades de la madera de pino de 24 años y la de 15 años son atribuibles a la excesiva proporción de madera juvenil presente en esta última. Es ampliamente reconocido que la densidad influye en las propiedades mecánicas de la madera; los resultados de este trabajo sugieren que la densidad tuvo mayor efecto en la resistencia de compresión que en la de tracción.

### 3.2 Influencia de la médula sobre las propiedades resistentes

La presencia de médula fue observada en 91% de las piezas de M1 y en 38% de las de M2; detectándose en las piezas de M2 reducciones de 9% y 16% en los valores de las resistencias de tracción y de compresión, respectivamente. Las Tablas 4 y 5 muestran la cantidad de piezas con y sin médula y los resultados de los ensayos mecánicos.

Tabla 4: Cantidad de piezas con y sin médula

Muestreo <sup>a</sup>	Ensayo de tracción		Ensayo de compresión		Total		Total
	c/médula	s/médula	c/médula	s/médula	c/médula	s/médula	
M1	21	2	18	2	39	4	43
M2	8	17	10	14	18	31	49
Total	29	19	28	17	47	35	92

<sup>a</sup>M1 y M2: madera de *P. taeda* de 14 años y de *P. elliottii* de 27 años, respectivamente

Tabla 5: Resistencia a tracción y compresión de piezas con y sin médula

Muestreo <sup>a</sup>	$f_{t,0,med}$ [MPa]		$f_{c,0,med}$ [MPa]	
	c/médula	s/médula	c/médula	s/médula
M1	14,0	21,5	20,6	23,0
M2	16,0	20,3	22,2	26,1

<sup>a</sup>M1 y M2: madera de *P. taeda* de 14 años y de *P. elliottii* de 27 años, respectivamente

$f_{t,0,med}$ : valor medio de resistencia de tracción paralela a la fibra

$f_{c,0,med}$ : valor medio de resistencia de compresión paralela

La presencia de médula está asociada a micro fisuras y a madera juvenil, y por tanto usualmente se la considera como una variable reductora de la capacidad mecánica de una pieza [2]. Los resultados de compresión de M2 concuerdan con esa afirmación, e indican que la presencia de médula redujo significativamente (p-valor < 0,05) la resistencia en piezas que la contienen respecto a las que no; esta diferencia sin embargo, no fue significativa (p-valor > 0,05) para las piezas de M1. Respecto a la resistencia de tracción no se observó diferencia significativa por presencia o ausencia de médula en piezas de ninguno de los dos muestreos (p-valor > 0,05). Los resultados de compresión y tracción de las piezas de madera de M2, esto es madera de 27 años, sugieren que la médula tiene mayor influencia en la resistencia de compresión que en la de tracción; mientras que en la madera de M1, de 15 años, la presencia o ausencia de médula no se refleja en las propiedades mecánicas, por tratarse en este caso de piezas cuya sección transversal contiene en su totalidad madera juvenil.

### 3.3 Influencia de los anillos de crecimiento sobre las propiedades resistentes

La anchura de los anillos de crecimiento usualmente es relacionada en forma directa con la densidad de la madera [11][12] y por tanto con su resistencia. Sin embargo, algunos autores [4] han reportado que en madera de pino del sur de Estados Unidos, anillos de crecimiento anchos no necesariamente son indicativos de valores bajos de densidad. El porcentaje de madera de verano,

generalmente altamente relacionado con la densidad, se incrementa progresivamente en forma radial y hacia afuera de la médula, especialmente en la zona de madera juvenil.

La relación entre el número de anillos de crecimiento y la resistencia a tracción no resultó significativamente diferente de cero, para las piezas de M1 y M2; por tanto no se puede inferir que el ancho de los anillos influya sobre la resistencia de tracción de las piezas de ambos muestreos.

Por otra parte, en las piezas del muestreo M2 se observó influencia significativa del número de anillos sobre la resistencia de compresión ( $R^2= 0,52$ ); mientras que en las piezas de M1 esta influencia no fue significativa. Estos resultados indican que la anchura de los anillos de crecimiento tiene mayor influencia en las propiedades de compresión de la madera adulta, que en las de la madera juvenil.

### **3.4 Influencia de los nudos sobre las propiedades resistentes**

La influencia de los nudos sobre el comportamiento mecánico se observó solamente en piezas sometidas a tracción, y fue diferente según la ubicación del nudo fuese en la cara o en el canto de la pieza. Para las piezas de M1, el coeficiente de correlación entre el tamaño de nudo de canto y la resistencia de tracción fue  $R = -0,51$ , indicando una relación significativa entre este parámetro visual y la resistencia de tracción (p-valor  $<0.05$ ). Para las piezas de M2, el coeficiente  $R = -0,51$  indicó una relación significativa entre el tamaño de nudo de cara y la resistencia de tracción (p-valor  $<0.05$ ).

## **4. CONCLUSIONES**

En este trabajo 181 piezas de madera de pino uruguayo correspondientes a dos muestreos M1 y M2, de 15 y 27 años respectivamente, fueron clasificadas estructuralmente. 43 piezas de M1 y 49 de M2 fueron ensayadas en tracción y compresión paralela a la fibra y sus respectivas resistencias determinadas. M1 presentó valores medios de resistencias de tracción y compresión significativamente menores que los correspondientes de M2. Se analizó la influencia de tres parámetros visuales sobre las propiedades mecánicas. La presencia de médula, observada en 91% de piezas de M1 y en 38% de las de M2, tuvo influencia significativa y redujo los valores de resistencias de tracción y compresión de las piezas del muestreo M2. El número de anillos tuvo mayor influencia sobre la resistencia de compresión que sobre la de tracción para M2, mientras que el tamaño de nudo tuvo influencia significativa solamente sobre la resistencia de tracción. El nudo de canto presentó mejor relación con la resistencia de tracción en M1 y el nudo de cara explicó mejor la variabilidad en M2.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la Dirección Nacional de Industrias del Ministerio de Industria, Energía y Minería por contribuir con fondos para la ejecución de este proyecto.

## **REFERENCIAS**

- [1] EN 338. 'Structural timber-strength classes'. Comité Europeo de Normalización, CEN (2016)
- [2] Fank, P.Y., Stefani, P.M., y Piter, J.C. 'Análisis de la relación entre las propiedades mecánicas de flexión y tracción paralela a las fibras en la madera de pino resinoso cultivado en el nordeste de Argentina', Proceedings XV EBRAMEM. Curitiba, Brasil (2016)
- [3] Kretschmann, D. E., y Bendtsen, B.A. 'Ultimate tensile stress and modulus of elasticity of fast-grown plantation loblolly pine lumber'. Wood and Fiber Science 24.2 (2007): 189-203
- [4] Larson, P.R., Kretschmann, D. E., Clark, A. III, e Isebrands, J.G. 'Formation and properties of juvenile wood in southern pines'. Gen. Tech. Rep. FPL-GRT-129. USDA For. Serv. Forest Prod. Lab.(2001)

- [5] Dahlen, J., Jones, P.D., Seale, R.D., y Shmulsky, R. 'Sorting lumber by pith and its effect on stiffness and strength in Southern Pine n° 2 2 x 4 lumber'. Wood and Fiber Science 46.2 (2014): 186-194
- [6] UNE 56544. 'Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas', AENOR (2011)
- [7] NCh 3028/1. Madera estructural. 'Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera clasificada por su resistencia. Parte 1: Métodos de ensayo en tamaño estructural', Instituto Nacional de Normalización, INN (2006)
- [8] Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez L., Tablada, M., y Robledo, C.W. 'InfoStat versión 2014'. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- [9] Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). Infostat. 'Manual del Usuario', Editorial Brujas, Córdoba, Argentina
- [10] Moya, L., Cardoso, A., Cagno, M., y O'Neill, H. 'Caracterización estructural de madera aserrada de pinos cultivados en Uruguay', Maderas. Ciencia y Tecnología 17.3: 597-612 (2015)
- [11] Haselein, C., Cechin, E., Santini, E., y Gatto, D. 'Características estructurais da madeira de Pinus elliottii engelm aos 30 anos de idade'. Revista Ciencia Florestal v. 10, n.002, p.135-144 (2000)
- [12] Weber, E. 'Densidad básica de madera de Pinus taeda L. Marion de diferentes edades, Misiones, Argentina'. Revista Floresta, v. 35, n.3., p. 487-494 (2005)