

DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES ELÁSTICAS DE PINO URUGUAYO DE RÁPIDO CRECIMIENTO MEDIANTE ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

DETERMINATION OF ELASTIC CONSTANTS OF URUGUAYAN FAST GROWTH PINE FROM COMPRESSION AND BENDING TESTS

Laura Moya ⁽¹⁾ (P), Vanesa Baño ⁽²⁾, Juan M. González ⁽³⁾, Juan Perlas ⁽⁴⁾, Matías Cagno ⁽⁵⁾,
Hugo O'Neill ⁽⁶⁾

(1) PhD Prof. asociada, Facultad de Arquitectura, Universidad ORT Uruguay, Montevideo, Uruguay

(2) Dr. Prof., asociada, Dpto. de Estructuras, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

(3) Arq. y Asistente de investigación, Facultad de Arquitectura, Universidad ORT Uruguay, Montevideo, Uruguay

(4) Estudiante y Asistente de investigación, Dpto. de Estructuras, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

(5) Ing. Qco. Investigador junior, Departamento de proyectos forestales, Laboratorio Tecnológico del Uruguay

(6) Per Agr. Investigador senior, Departamento de proyectos forestales, Laboratorio Tecnológico del Uruguay

Dirección de contacto: moya@ort.edu.uy; (P) Presentadora

Código de identificación: T3-12

Resumen

La madera aserrada de pino en Uruguay proviene de árboles de plantaciones de rápido crecimiento con altos porcentajes de madera juvenil, y por consiguiente con bajas propiedades físicas y mecánicas. La modelación numérica del comportamiento estructural de la madera y el diseño de productos de ingeniería de madera, requieren contar con información sobre sus propiedades elásticas y mecánicas. El objetivo del trabajo fue contribuir a la caracterización mecánica de la madera de *Pinus elliotii* y *P. taeda* a partir de un modelo ortótropo y lineal, evaluando sus constantes elásticas. El programa experimental incluyó ensayos de compresión y flexión sobre cuerpos de prueba de tamaño pequeño y libre de defectos. Para cada cuerpo de prueba ensayado en compresión, se midieron las deformaciones en dos planos. En los cuerpos ensayados a flexión, las deformaciones por compresión y tracción se midieron en el plano LR. Se determinaron los doce parámetros elásticos que describen el comportamiento elástico de la madera: tres módulos elásticos, tres módulos de corte y seis coeficientes de Poisson. Los resultados experimentales de los ensayos de flexión permitieron obtener los módulos de elasticidad a compresión y a tracción y determinar la posición de la fibra neutra. La diferencia entre los valores de módulo de elasticidad longitudinal a compresión obtenido en ensayos de flexión y los correspondientes del ensayo de compresión paralela fue baja, con un error relativo de 3,5%.

Palabras clave: constantes elásticas; *Pinus elliotii*; *Pinus taeda*; Uruguay; flexión; compresión

Abstract

Locally produced timber in Uruguay come from fast-growing species with high proportions of juvenile wood, and medium to low engineered properties. Numerical simulations and design of engineered wood products required knowledge of mechanical and elastic parameters. The aim of this study was to determine the elastic constants of Uruguayan Pinus elliotii and P taeda. Experimental program involved compression and bending tests on small defect-free specimens were performed. For each specimen, compression strain was measured in two planes; for bending test, compression and tension strains were measured in LR plane. The twelve elastic parameters that describes the elastic behavior of wood were determined. Experimental results from bending tests provided elastic moduli in compression and in tension.

Keywords: elastic constants; *Pinus elliotii*; *Pinus taeda*; Uruguay; bending tests; compression tests

1. INTRODUCCIÓN

La madera de pino en Uruguay proviene de árboles de plantaciones de rápido crecimiento con altos porcentajes de madera juvenil, y por consiguiente con bajas propiedades físicas y mecánicas [1]. El conocimiento de las propiedades elásticas y mecánicas de la madera resulta de especial relevancia para la modelación numérica y por los métodos de cálculo empleados en los proyectos de estructuras. Usualmente la madera es considerada como un material elástico y ortótropo, cuyo comportamiento puede definirse mediante doce constantes: tres módulos de Young, longitudinal, radial y tangencial (E_L , E_R , E_T), tres módulos transversales longitudinal-radial, longitudinal-tangencial y radial-tangencial (G_{LR} , G_{LT} , G_{RT}) y seis coeficientes de Poisson (ν_{LT} , ν_{LR} , ν_{TR} , ν_{TL} , ν_{RL} , ν_{RT}) [2]. Estas constantes, generalmente se determinan mediante ensayos estáticos axiales [3], [4], dinámicos [5], [6], y ambos [7], [8], [9]. En Uruguay, la información sobre las propiedades elásticas de las maderas cultivadas es parcial. Para pino, se conoce solamente el módulo de elasticidad longitudinal determinado en ensayos de flexión estática [10]. Algunos autores [11] han reportado que es posible obtener los módulos elásticos de compresión y de tracción a partir de ensayos de flexión estática para madera de *Pinus sylvestris* de España. El ensayo de flexión tiene la ventaja de permitir obtener simultáneamente los módulos elásticos longitudinales de tracción y compresión, y además evitar los problemas de excentricidad observados en los ensayos de compresión, o los relacionados con las mordazas en los de tracción. Los objetivos de este trabajo fueron: determinar las constantes elásticas de la madera de pino uruguayo mediante ensayos de compresión, y obtener los módulos elásticos longitudinales de tracción y de compresión a partir de ensayos de flexión y del conocimiento de la ubicación de la fibra neutra.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La madera utilizada en este trabajo proviene de diez piezas de madera aserrada (55 x 150 x 3300 mm) de *Pinus elliottii* y *P. taeda*. Las probetas de estudio, de pequeñas dimensiones y libre de defectos, fueron extraídas de diez piezas seleccionadas teniendo especial precaución en que la orientación de los ejes de simetría física y elástica de la madera coincidiera con los ejes longitudinal, radial y tangencial de la pieza.

2.1 Preparación de las probetas y condiciones de ensayo

De cada viga seleccionada, se extrajo un grupo de cuerpos de prueba de pequeñas dimensiones y libre de defectos, compuesto por seis probetas (20 x 20 x 60 mm) para ensayos de compresión en las 6 direcciones indicadas en la Tabla 1, totalizando 60 probetas de compresión. Adicionalmente, de cuatro de las diez vigas seleccionadas, se extrajo un segundo grupo de probetas, compuesto por dos probetas pareadas, una para ensayo de flexión (21 x 21x 450 mm) y otra para compresión paralela (20 x 20 x 60 mm) ambas con un corte transversal radial, totalizando cuatro probetas de compresión y cuatro de flexión. La Fig. 1 muestra el patrón de corte para las 8 probetas extraídas de una misma viga, relativa a las direcciones de ortotropía de la madera.

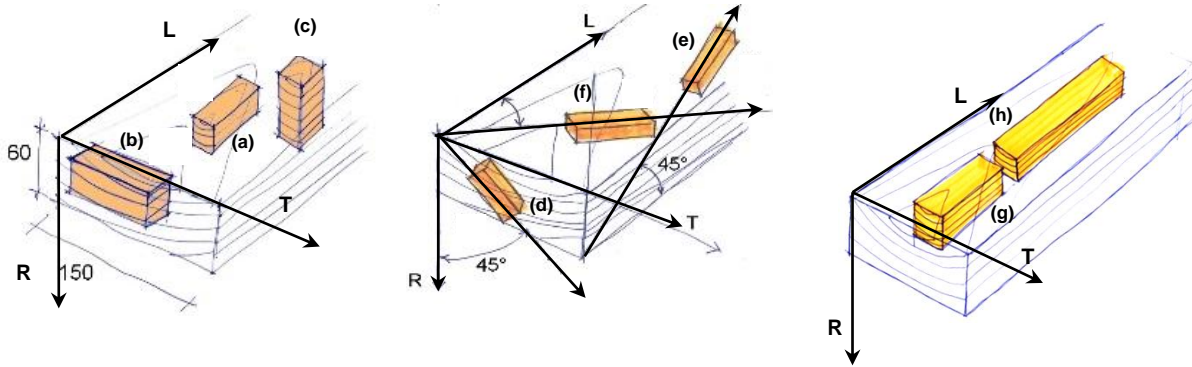


Figura 1: Patrón de corte para los cuerpos de prueba extraídos de la viga. La letra refiere al tipo de ensayo: (a) paralelo a la fibra, (b) perpendicular tangencial, (c) perpendicular radial, (d) a 45° en el plano LT, (e) a 45° en el plano RT, (f) a 45° en el plano LR, (g) flexión, (h) compresión paralela.

La totalidad de las probetas fue acondicionada a 12% de contenido de humedad (CH) en cámara climatizada ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura y $65 \pm 5\%$ de humedad relativa del aire) en el Dpto. de Proyectos forestales del LATU. Luego de acondicionadas, a cada probeta de compresión se le midió las dimensiones con calibre digital de precisión $\pm 0,01$ mm, y se le pegó con adhesivo de cianoacrilato, ocho galgas uni-axiales (KYOWA KFG-10-120-C1-11) a efectos de medir las deformaciones longitudinal (δL), radial (δR) y tangencial (δT) producida por la aplicación de una carga de compresión sobre la sección transversal. Análogamente, a cada probeta de flexión, luego de medirle sus dimensiones, se le pegaron dos galgas uni-axiales, una en el cordón superior y otra en el cordón inferior, para medir las deformaciones longitudinales (δL) en compresión y en tracción, respectivamente, obtenidas a partir de un ensayo de flexión de cuatro puntos.

Los ensayos experimentales fueron realizados en una cámara climatizada a 20°C y 65% de humedad relativa, en el Dpto. de Proyectos forestales del LATU. Se utilizó una máquina universal Minebea con una celda de carga de de 50 kN. La medición de las deformaciones se realizó conectando las galgas extensométricas a un medidor de deformaciones (Vishay Micro-Measurements R, modelo P3). Para la captura de datos de carga aplicada a las probetas y de sus respectivas deformaciones, la máquina universal y el medidor de deformaciones fueron conectados a un ordenador portátil con un programa de adquisición de datos, facilitados por el Dpto. de Estructuras y Transporte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República.

2.2 Ensayos de compresión

Los ensayos de compresión fueron realizados de acuerdo a UNE 56535 [12] y UNE 56542 [13] con una velocidad de ensayo de 0,2 mm/min. Las mediciones de las galgas que se consideraron válidas fueron aquellas tomadas dentro de un rango lineal definido por regresión lineal con un coeficiente $R^2 \geq 0,99$.

El cálculo de las tensiones de compresión paralela (σ_L), perpendicular radial (σ_R), perpendicular tangencial (σ_T), a 45° respecto a las direcciones antes mencionadas (σ_{LR} , σ_{LT} y σ_{RT}), y las deformaciones unitarias según L, T, R, LR, LT y RT (ε_L , ε_T , ε_R , ε_{LR} , ε_{LT} y ε_{RT}) se calcularon de acuerdo a:

$$\sigma_i = \frac{P_i}{A}; \varepsilon_i = \frac{\delta_i}{l} \quad (1)$$

donde σ_i es la tensión en la dirección i (L, T, R, LR, LT y RT), P_i es la carga aplicada en la dirección i , A es el área de la sección transversal de la probeta; l es la longitud inicial de la galga; y ε_i es la deformación de la galga en la dirección i .

Las constantes elásticas para las probetas cuyos ejes se corresponden con los ejes de ortotropía, se calcularon de acuerdo a:

$$E_i = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i}; \nu_{ij} = \frac{\varepsilon_j}{\varepsilon_i}; \nu_{ik} = \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_i} \quad (2)$$

donde E_i es el módulo de elasticidad en la dirección i (L, T y R), σ_i es la tensión en la dirección i , $\nu_{i,j,k}$ es el coeficiente de Poisson en las direcciones i, j, k ($i \neq j \neq k$); y $\varepsilon_{i,j,k}$ es la deformación de la galga en la dirección i, j, k respectivamente.

Los módulos de corte se calcularon para los ejes de ortotropía con las relaciones propuestas por Aira et al. (2014):

$$G_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{\gamma_{xy}} = \frac{\sigma_{y'}}{2(\varepsilon_{x'} - \varepsilon_{y'})} \quad (3)$$

donde G_{xy} es el módulo de corte en los planos xy (LR, LT y RT), y $\varepsilon_{x'}$ y $\varepsilon_{y'}$ son las deformaciones de la galga en las direcciones en x' e y' , siendo x' e y' los ejes del sistema de coordenadas girado a 45° con respecto a los ejes del sistema de coordenadas principal x e y .

Posteriormente a los ensayos de compresión, las probetas fueron embaladas en film de polietileno y trasladadas al Instituto de Estructuras y Transporte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, donde se realizaron los ensayos de densidad y contenido de humedad de acuerdo a UNE-EN 13183-1 [14].

Tabla 1: Posición de los cuerpos de prueba para medición de los parámetros elásticos en ensayos de compresión

Posición	Paralela	Perpendicular		@ 45°		
	(a)	Tangencial (b)	Radial (c)	LT (d)	RT(e)	LR(f)
Parámetros elásticos medidos	$E_L = \frac{\sigma_L}{\varepsilon_L}$	$E_T = \frac{\sigma_T}{\varepsilon_T}$	$E_R = \frac{\sigma_R}{\varepsilon_R}$			
	$\nu_{LR} = -\frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_L}$	$\nu_{TL} = -\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_T}$	$\nu_{RL} = -\frac{\varepsilon_L}{\varepsilon_R}$	GLT	GRT	GLR
	$\nu_{LT} = -\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_L}$	$\nu_{TR} = -\frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_T}$	$\nu_{RT} = -\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_R}$			
(a),(b),(c),(d),(e),(f): identificación de la probeta según la orientación de la fibra relativa a las direcciones de ortotropía de la madera de acuerdo a Fig 1						

2.3 Ensayos de flexión

Los ensayos de flexión en 4 puntos fueron realizados en base a la norma para madera estructural EN 408 [15] y a velocidad de ensayo de 4,5 mm/min.

En el tramo elástico del diagrama tensión-deformación, el comportamiento de la madera en tracción y compresión es lineal. Los módulos de elasticidad en compresión y tracción se obtuvieron a partir de la Ley de Hooke (4), como la relación entre la diferencia de tensiones y deformaciones

entre los puntos inicial y final del tramo recto del diagrama definidos por las cargas máximas de flexión entre 10% y 40% de la carga máxima de flexión, de acuerdo a (5):

$$\sigma_c = E_c \varepsilon_c; \quad \sigma_t = E_t \varepsilon_t \quad (4)$$

$$E_c = \frac{\sigma_{c,40} - \sigma_{c,10}}{\varepsilon_{c,40} - \varepsilon_{c,10}}; \quad E_t = \frac{\sigma_{t,40} - \sigma_{t,10}}{\varepsilon_{t,40} - \varepsilon_{t,10}} \quad (5)$$

donde E_c y E_t son los módulos de elasticidad en compresión y tracción paralela, respectivamente; $\sigma_{c,40}-\sigma_{c,10}$ es el incremento de tensiones en compresión correspondiente al incremento de cargas $F_{40}-F_{10}$ (N/mm^2); $\sigma_{t,40}-\sigma_{t,10}$ el incremento de tensiones en compresión correspondiente al incremento de cargas $F_{40}-F_{10}$ (N/mm^2); y $\varepsilon_{c,40}-\varepsilon_{c,10}$ y $\varepsilon_{t,40}-\varepsilon_{t,10}$ son el incremento de deformaciones en compresión y tracción, respectivamente, correspondientes al incremento de cargas $F_{40}-F_{10}$ (adimensional).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Ensayos de compresión

A partir de los datos experimentales de las probetas del primer grupo, se graficaron los diagramas de carga-deformación. A modo de ejemplo, las Fig 2, 3 y 4 muestran diagramas típicos de carga-deformación para compresión paralela, compresión perpendicular radial y compresión perpendicular tangencial.

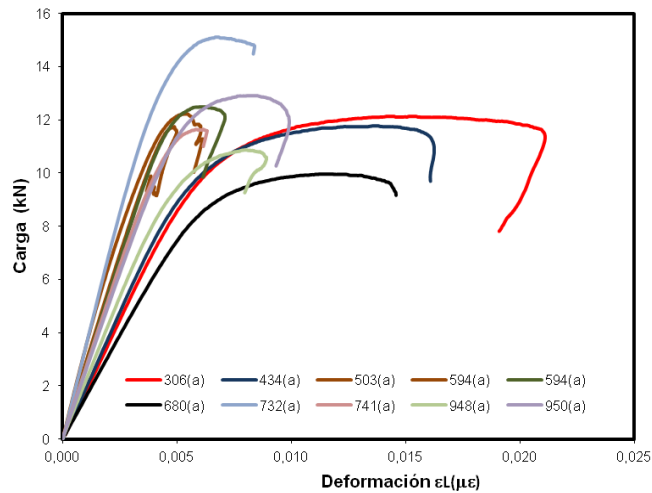


Figura 2: Diagrama de carga-deformación para probetas ensayadas en compresión paralela

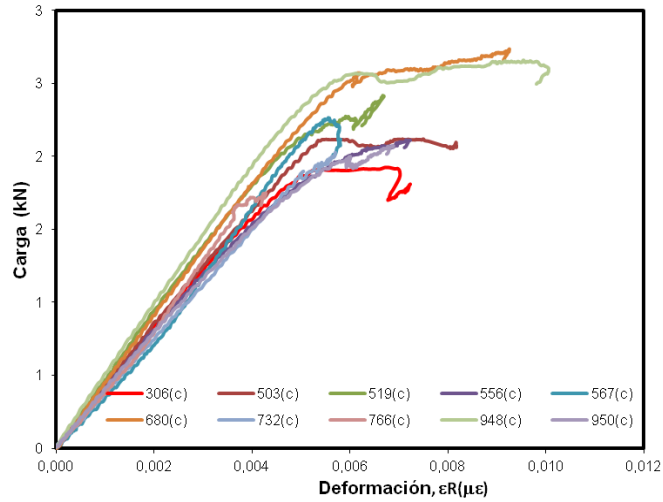


Figura 3: Diagrama de carga-deformación para probetas ensayadas en compresión perpendicular radial

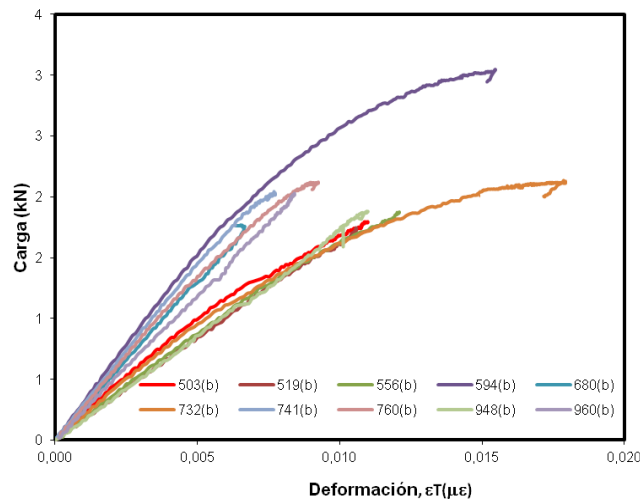


Figura 4: Diagrama de carga-deformación para probetas ensayadas en compresión perpendicular tangencial

El conjunto completo de 12 constantes elásticas que se muestra en la Tabla 2, pudo ser obtenido para las probetas provenientes de cinco de las diez vigas, ya que algunas galgas fallaron antes de alcanzar el límite de proporcionalidad en los ensayos de compresión.

Tabla 2: Constantes elásticas de madera de pino uruguayo^{a,b} determinadas en ensayos de compresión

ID ^c	Módulos de Young y de Corte (N mm ⁻²)						Coeficientes de Poisson					
	E _L ^d	E _R	E _T	G _{LR}	G _{LT}	G _{RT}	ν _{LR}	ν _{LT}	ν _{RL}	ν _{RT}	ν _{TL}	ν _{TR}
503	6731	1070	458	1439	460	493	0.582	0.421	1.037	0.138	0.582	0.421
680	3628	1084	609	832	405	801	0.483	0.315	1.028	0.207	0.728	0.142
732	8258	899	469	1090	315	570	0.600	0.503	0.482	0.121	0.087	0.322
948	4955	1152	404	1104	543	755	0.495	0.585	0.630	0.151	0.291	0.075
950	5407	942	524	981	707	106	0.505	0.389	0.438	0.098	0.341	0.098
Media	5796	1092	493	1089	486	545	0.533	0.443	0.723	0.143	0.406	0.212
CoV%	30	10	16	21	31	51	10	24	40	29	62	72

^a Densidad (valor medio) de la madera 430 g cm⁻³
^b Valor ajustado al 12% de CH
^c Refiere a la viga de la cual provienen las probetas según el patrón de corte de la Fig.1
^d Corresponde a mediciones en el plano LT (E_{LT})

Si se comparan los valores medios (considerando los CoV) obtenidos en este estudio con los de referencia del Wood Handbook [16] para las mismas especies, se observa que: los módulos E_T, E_R y G_{LR} están en el orden de los valores de referencia; mientras que E_L es menor que la mitad del publicado, pero cercano al valor medio reportado por Moya et al. [17] para el módulo de elasticidad determinado en ensayos de flexión de pequeñas probetas libre de defectos. El valor medio del módulo de corte G_{LT} es 30% menor, y el de G_{RT} es 3,5 veces mayor que los respectivos valores de referencia [16].

Finalmente, los valores medios de los coeficientes de Poisson ν_{LR} y ν_{LT} son similares a los tabulados en el Wood Handbook para las mismas especies, mientras que los coeficientes ν_{RT} y ν_{TR} experimentales son notoriamente inferiores (dos y tres veces menores, respectivamente). Los coeficientes ν_{TL} y ν_{RL} no están tabulados en el Wood Handbook para las especies de *Pinus elliottii* y *P. taeda*. Comparados con los reportados por Bodig y Jayne [2], se observa que no hay congruencia entre los datos experimentales y los coeficientes ν_{TL} y ν_{RL} para coníferas. Cabe señalar la alta variabilidad observada en la determinación de algunos parámetros elásticos, fundamentalmente en aquellos obtenidos en cuerpos de prueba cuyos ejes se desvían de los ejes de ortotropía de la madera.

3.2 Ensayos de flexión

Los resultados de las probetas del grupo B, ensayadas en compresión paralela, fueron comparados con los respectivos de las probetas pareadas ensayadas en flexión. La Fig. 5 presenta a modo de ejemplo, los gráficos carga-deformación de las probetas N° 680 (g) y (h), la primera ensayada en compresión paralela, y la segunda en flexión.

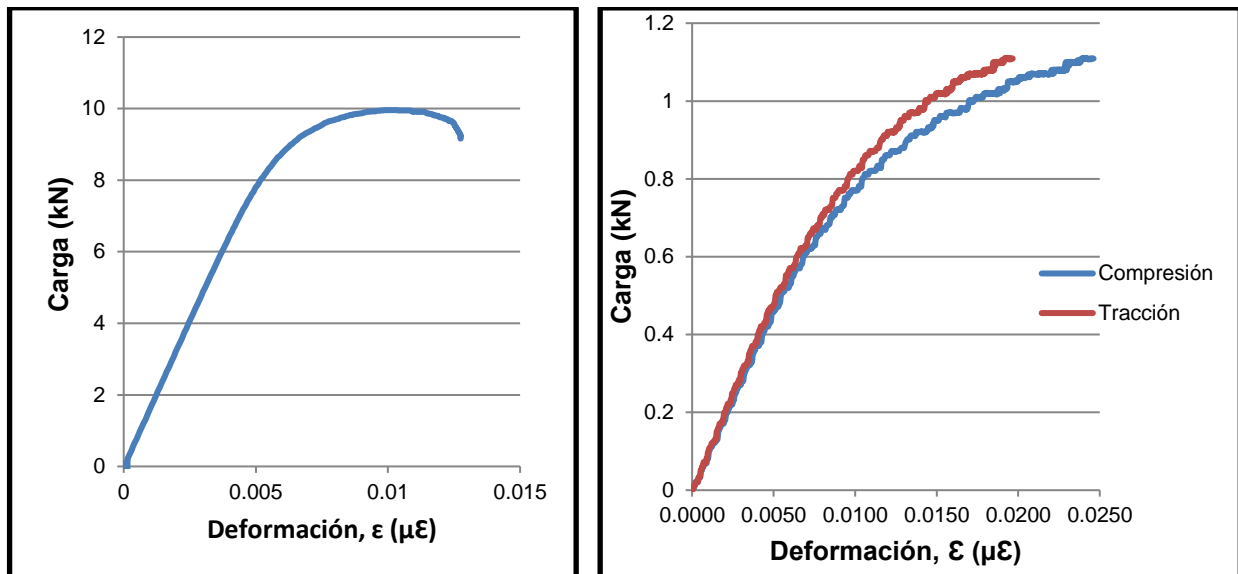


Figura 5: Diagramas carga-deformación para las probetas pareadas N° 680. Izquierda, probeta N° 680 (g) ensayada en compresión paralela; derecha, probeta N° 680 (h) ensayada en flexión

Para las 4 probetas ensayadas a flexión, se determinaron los módulos de elasticidad longitudinal en tracción (E_t) y en compresión (E_c), encontrándose el valor de 1,3 para el cociente E_t/E_c .

El valor medio del módulo de elasticidad en compresión obtenido en el ensayo de compresión ($E_{L,c,c}= 5.311 \text{ N mm}^{-2}$) concuerda con el correspondiente obtenido en el ensayo de flexión ($E_{L,c,b}=5.309 \text{ N mm}^{-2}$) para las 4 probetas con la misma identificación (Tabla 3). Este resultado es promisorio, si bien el número insuficiente de probetas impide establecer conclusiones.

Tabla 3: Módulo de elasticidad obtenido a partir de ensayos de compresión y de flexión

ID	Compresión (LR) $E_{L,c,c}$ (N mm^{-2})	Flexión (LR) $E_{L,c,b}$ (N mm^{-2})
519	3624	3849
732	6876	6938
950	5609	6851
948	5134	3598
Media	5311	5309

Cabe señalar que en varias oportunidades se observó excentricidad de la carga durante el ensayo de compresión lo cual conllevó a una importante variabilidad en los resultados experimentales. Estos datos preliminares estarían indicando que es posible determinar el módulo de elasticidad de compresión mediante el ensayo de flexión y evitar el problema de excentricidad del ensayo de compresión. Además, el ensayo de flexión tiene la ventaja de permitir obtener en el mismo ensayo el módulo de elasticidad de compresión y el de tracción.

CONCLUSIONES

En este estudio se determinaron las propiedades elásticas de las maderas de *Pinus elliottii* y *P. taeda* provenientes de plantaciones uruguayas. En general, los valores de los parámetros elásticos

resultaron menores que los publicados en la literatura para las mismas especies. Estos resultados pueden ser atribuidos a la alta proporción de madera juvenil observada en los cuerpos de ensayo.

Los datos preliminares indicaron que es posible determinar el módulo de elasticidad de compresión mediante el ensayo de flexión y evitar el problema de excentricidad del ensayo de compresión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación por los fondos para este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] 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).
- [2] Bodig, J. y Jayne, B.A. 1993. 'Mechanics of wood and wood composites' (Krieger Publishing Co Malabar, Florida, 1993).
- [3] Ballarin, A.W. y Nogueira, M. 'Caracterizacáo elástica da madeira de *Eucalyptus citriodora*'. CERNE, V.9, N.1, p.066-080 (2003)
- [4] Garab, J., Keunecke, D., Hering, S., Szalai, J., y Niemz, P. 'Measurement of standard and off-axis elastic moduli and Poisson's ratios of spruce and yew wood in the transverse plane', *Wood Sci Technol* 44:451-464 (2010).
- [5] Bucur V. y Archer, R.R. 'Elastic constants for wood by an ultrasonic method', *Wood Sci Technol* 18:255-265 (1984).
- [6] Ballarin, A.W., y Nogueira, M. 'Determinacao do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultra-som', *Eng. Agríc.* vol.25, n.1, pp. 19-28 (2005).
- [7] Goncalves, R., Trinca, A.J. y Cerri, D.G.P. 'Comparison of elastic constants of wood determined by ultrasonic wave propagation and static compression testing', *Wood and Fiber Sci*, 43(1): 64-75 (2011).
- [8] Baradit, E., Niemz, P., y Fernández-Pérez, A. 'Propiedades físico-mecánicas de algunas maderas nativas chilenas coníferas y latifoliadas por ultrasonido', *Maderas. Ciencia y tecnología* 15(2):235-244 (2013).
- [9] Vázquez, C., Goncalves, R., y Guaita, M. 'Determinación de propiedades mecánicas de *Castanea sativa* Mill. mediante ondas de ultrasonidos y comparación con el método de compresión'. *Anales del VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias hortícolas* (Madrid, 6 pp, 2013).
- [10] O'Neill, H. y Tarigo, F. 'Propiedades mecánicas de *Pinus elliottii* Eng. del norte de Uruguay', *Informe N°7*. Laboratorio Tecnológico del Uruguay (Montevideo, 42 pp, 2008).
- [11] Baño, V., Argüelles-Bustillo, R., Regueira, R., y Guaita, M. 'Determinación de la curva tensión-deformación en madera de *Pinus sylvestris* L. para la simulación numérica de vigas de madera libre de defectos', *Materiales de construcción*, 62(306), 269-284 (2012).
- [12] UNE 56535. 'Características físico-mecánicas de la Madera. Determinación de la Resistencia a la compresión axial', AENOR (1977).
- [13] UNE 56542. 'Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la compresión perpendicular a las fibras', AENOR (1988).
- [14] UNE-EN 13183-1. 'Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada', AENOR (2002).
- [15] EN 408. 'Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties'. CEN/TC 124 (2010).
- [16] USDA. 'Wood Handbook : Wood as an engineering material', *General Technical Report FPL-GTR-190*, U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison, WI (2010).
- [17] Moya L., Laguarda, MF, Cagno M, Cardoso A, Gatto F, O'Neill H. 'Physical and mechanical properties of loblolly and slash pine wood from Uruguayan plantations', *Forest Prod J.* 63(3/4):128-137 (2013).