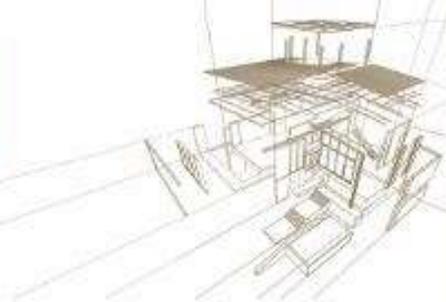




# CLEM

2019

18 al 20 de noviembre  
Hotel Cottage  
Montevideo - Uruguay



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

## CLASIFICACIÓN VISUAL DE MADERA DE *PINUS ELLIOTTII* DE URUGUAY Y ESTIMACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD MEDIANTE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS

### VISUAL GRADING OF URUGUAYAN *PINUS ELLIOTTII* AND STIFFNESS ESTIMATION BY NON DESTRUCTIVE TECHNIQUES

Quagliotti, Sebastián<sup>1</sup>; Bruzzone, Gastón<sup>1</sup>; Cháben, Alvaro<sup>2</sup>; Baño, Vanesa<sup>3</sup>; Moya, Laura<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Tecnológico del Uruguay/Facultad de Agronomía-Universidad de la República, Uruguay;

<sup>2</sup>Facultad de Agronomía-Universidad de la República, Uruguay;

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería-Universidad de la República, Uruguay;

<sup>4</sup>Facultad de Arquitectura-Universidad ORT Uruguay, Uruguay

CÓDIGO: 4620205

#### Resumen

En los últimos años Uruguay comenzó a redactar el paquete normativo necesario para el desarrollo de la construcción con madera. En 2018 se aprobaron las normas de clasificación visual estructural para maderas cultivadas nacionales, en particular para madera aserrada de pinos. Debido a su reciente aprobación y con el fin de confrontar la eficiencia de su aplicación, este trabajo propone aplicar los criterios de clasificación visual establecidos en la norma UNIT 1261 para la estimación de las calidades visuales de la madera de pino; y verificar los valores de rigidez mediante técnicas no destructivas (NDT). Para ello se evaluó un lote comercial de 300 vigas de tamaño estructural (50 mm x 150 mm x 2850 mm) provenientes de árboles de *Pinus elliottii* de 27 años del Departamento de Rivera. Las vigas se clasificaron visualmente, y posteriormente se estimó su rigidez mediante Fakopp, flexión estática con pesas, y flexión estática en máquina universal de acuerdo a EN 408. Adicionalmente se determinó la densidad y el contenido de humedad. Los resultados indican que el 24 % de las vigas corresponden a la calidad visual EC1, con valores de rigidez similares a los de C14 de EN 338; 59 % a la EC0 con valores de rigidez inferiores ( $E_0=5.288$  MPa) y 17 % son rechazadas. Los resultados de NDT permiten obtener ecuaciones lineales que posibilitan obtener el MOE estático, habiéndose observado una buena correlación entre el MOE dinámico y el estático.

*Palabras-clave: Pinus elliottii uruguayo, clasificación visual, métodos no destructivos, módulo de elasticidad*

#### Abstract

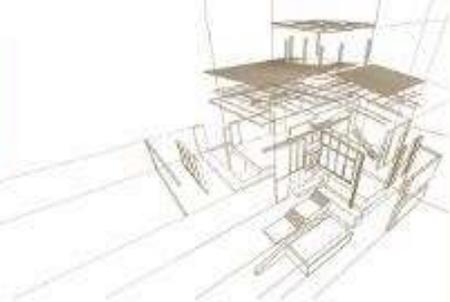
In the last years, Uruguay started to draft the standard package essential to improve the use of timber in building construction. In 2018, the grading rules for national cultivated species were approved, in particular for sawn pine timber. Due to its recent approval and in order to confront the efficiency of its application, this work proposes to apply the visual grading criteria established in UNIT 1261 to estimate the visual classes for pine timber; and to verify stiffness values by non-destructive techniques (NDT). A commercial sample comprised of 300 structural size beams (50 mm x 150 mm x 2850 mm) from 27-year-old *Pinus elliottii* trees from Rivera, was evaluated. The beams were visually graded, and their stiffness was estimated by Fakopp, static bending with weights, and static bending in universal machine according to EN 408. Additionally, density and moisture content were determined. Results indicate that 24% of the beams correspond to visual class EC1, with stiffness values similar to that of C14 of EN 338; 59% correspond to EC0 with lower stiffness values ( $E_0 = 5,470$  MPa) and 17% are rejected. The NDT results allow to obtain linear equations for static modulus of elasticity prediction. Furthermore a good correlation between the dynamic MOE and static MOE was found.



# CLEM

2019

18 al 20 de noviembre  
Hotel Cottage  
Montevideo - Uruguay



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

Keywords: Uruguayan *Pinus elliottii*, visual grading, non-destructive techniques, modulus of elasticity

## 1. INTRODUCCIÓN

Uruguay cuenta con 1,2 millones de ha de bosques cultivados con especies de rápido crecimiento, de las cuales el 21% corresponde al género de *Pinus* (pino), y dentro de éste, a las especies de *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* (MGAP 2018). Debido a la similitud de sus propiedades físicas, estas dos especies usualmente son plantadas y comercializadas en forma mezclada (Moya et al. 2015), ubicándose en el tercer lugar de predominancia entre las cultivadas en Uruguay. El 90% de las plantaciones de pino están situadas en los departamentos norteros de Rivera y Tacuarembó.

Se estima que existe una oferta anual promedio de 3 millones de m<sup>3</sup> de madera de pino con destino a la transformación mecánica (Dieste 2012). Por otra parte, varios autores indican que las propiedades mecánicas y elásticas de la madera de pino permiten su empleo como material estructural (Baño et al. 2018, Moya et al. 2015, O'Neill et al. 2003, Pérez del Castillo 2000). Sin embargo, el uso estructural de madera de pino uruguayo es escaso, debido a la falta de madera con especificaciones técnicas conocidas, y a la inexistencia del paquete normativo que respalde técnicamente su uso. Dado que la determinación de las propiedades estructurales, fundamentalmente la resistencia, rigidez y densidad se realiza mediante ensayos destructivos que impiden el uso posterior de la pieza ensayada, ha sido necesario el desarrollo de métodos no destructivos para predecir la aptitud estructural de la madera. El más ampliamente utilizado a nivel mundial es el método de clasificación visual.

La clasificación visual para madera estructural fue empleada por primera vez en la década de 1920 (Yang et al. 2015). Consiste en comparar el tamaño de ciertas singularidades en relación a las dimensiones de la pieza evaluada, siguiendo los lineamientos de una norma de clasificación visual (Fernández-Golfín et al. 2003). Como resultado las piezas son segregadas en calidades visuales asociadas a grados estructurales ó clases resistentes con una familia de propiedades mecánicas y elásticas conocidas. La técnica de clasificación visual tiende a subestimar la calidad estructural de la pieza evaluada, y genera gran cantidad de rechazos de piezas con potencial uso estructural (Fernández-Golfín et al. 1998, Acuña et al. 2007).

Para mejorar la eficiencia en la predicción de las propiedades mecánicas, la clasificación visual es complementada con otras técnicas no destructivas (NDT) cuyo fundamento radica en la relación entre el módulo de elasticidad estático usualmente determinado en ensayos de flexión y el módulo dinámico. A su vez, para piezas de madera de coníferas de tamaño estructural se han reportado buenas relaciones ( $R^2=0,77$ ) entre módulo de elasticidad obtenido mediante NDT y módulo de elasticidad determinado en ensayos de flexión (Arriaga et al. 2005).

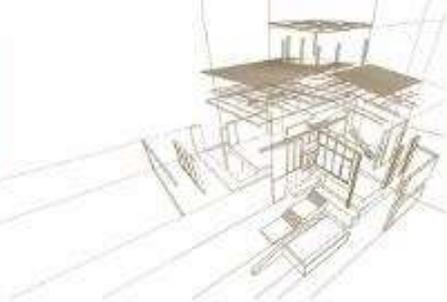
Los métodos NDT han sido revisados exhaustivamente para la madera (Brashaw et al. 2009, Vega 2013), y pueden concentrarse en cuatro grupos: i) acústicos, ii) mecánicos, iii) electromagnéticos y iv) nucleares (Vega 2013). Interesa destacar entre los acústicos, el método de onda de impacto, que consiste en medir el tiempo de propagación de una onda sónica (i.e., ondas con una frecuencia entre 20 Hz y 20 kHz) inducida por un impacto, en recorrer la distancia entre dos transductores. A partir del



# CLEM

2019

18 al 20 de noviembre  
Hotel Cottage  
Montevideo - Uruguay



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

tiempo de propagación de la onda y la densidad de la madera se obtiene el módulo de elasticidad dinámico (Ed).

Varios autores han reportado que las técnicas de propagación de ondas complementadas con información sobre algunos parámetros de clasificación visual permitieron predecir con mayor precisión la resistencia y rigidez de maderas de coníferas (Conde et al. 2007, Cagno et al. 2014). Por otra parte el proyecto publicado por VTT (Hanhijarvi and Ranta Mannus 2008) que involucró la caracterización de más de mil trozas de madera de *Picea abis* y mil de *Pinus sylvestris*, indicó mayores valores de coeficientes de determinación ( $R^2$ ) entre resistencia y los parámetros de NDT para la segunda especie.

A partir de 2017 se establece un Comité técnico en el ámbito del Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT) donde se comienza la redacción de normas para madera estructural. En 2018 se aprueba la primera norma de clasificación visual por resistencia para madera aserrada de pinos (*Pinus elliottii* y *P. taeda*). Debido a su reciente aprobación y con el fin de confrontar la eficiencia de su aplicación, este trabajo propone aplicar los criterios de clasificación visual establecidos en la norma UNIT 1261 (2018) para la estimación de las calidades visuales de la madera de pino; y verificar los valores de rigidez mediante técnicas no destructivas.

## 2. METODOLOGÍA

El material estudiado consistió en 300 vigas de tamaño estructural de *Pinus elliottii* provenientes árboles de 27 años de una plantación situada en el Departamento de Rivera, en el NE de Uruguay. Luego del proceso de secado en horno convencional, las vigas fueron enviadas al Departamento de Materiales y Productos Forestales del LATU. Fueron cepilladas en las cuatro caras hasta sus dimensiones finales (50 mm x 150 mm x 2850 mm) y equilibradas a un contenido de humedad (CH) ambiente de aproximadamente 12%.

### 2.1. Clasificación visual

Todas las vigas fueron evaluadas visualmente de acuerdo a la norma UNIT 1261 (UNIT 1261 2018) para madera aserrada de *Pinus taeda* y *Pinus elliotti* cultivadas en Uruguay. La norma establece dos calidades visuales, EC1 y EC0, a partir de las singularidades descritas en la Tabla 1.

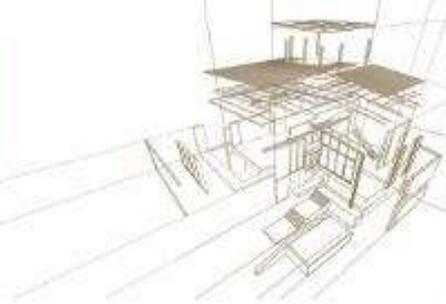


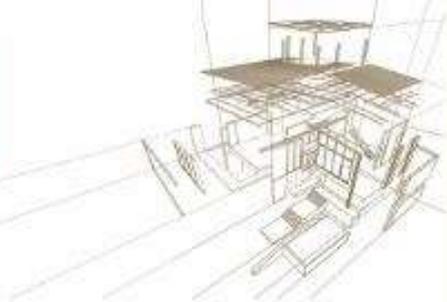
Tabla 1: Especificaciones para la clasificación visual de piezas de sección rectangular de pino (UNIT 1261)

Criterios de calidad	Calidad visual EC1	Calidad visual EC0
Diám nudos (d) sobre la cara (h)	$d \leq 1/4 h$	$d \leq 2/3 h$
Diám nudos (d) sobre el canto (b)	$d \leq 2/3 b$	$d \leq 3/4 b$
Presencia de médula	Permitida	
Dirección de las fibras	Desviación $\leq 1:8$	Desviación $\leq 1:6$
Ancho máx de anillo crecimiento	Sin limitación	
Rajaduras	$\leq 0,75 m$ ó $\leq (1/4)L^a$	
Grietas	$\leq 1,5 m$ ó $\leq (1/2)L$	
Fisuras de rayo, heladura o abatimiento	No permitidas	
Bolsas de resina y entrecasco	$\leq 1,5 h$	
Madera de reacción: compresión	Sin limitación	
Alteraciones biológicas: - Azulado - Hongos de pudrición - Galerías de insectos	Permitido No permitido Diámetro de los orificios $< 2 mm$	
Deformaciones: - Arqueadura - Encorvadura - Torcedura - Acanaladura	$\leq 8 mm$ $\leq 8 mm$ $\leq 1 mm$ por $c/ 25 mm$ de $h$ -	$\leq 16 mm$ $\leq 16 mm$ $\leq 2 mm$ por $c/ 25 mm$ de $h$ -
Arista faltante	$\leq 1/4 h$	$\leq 1/3 h$
<sup>a</sup> En los extremos, su largo no debe ser mayor que 2 veces el ancho de la tabla; d es el diámetro del nudo; h, b y L son ancho, espesor y longitud de la pieza.		

## 2.2. Ensayos dinámicos

Luego de clasificadas, las vigas EC1 y EC0 fueron ensayadas mediante NDT para determinar el módulo de elasticidad dinámico (Ed). Para cada viga, se registraron las dimensiones reales promedio (base, altura y luz), la masa con una balanza electrónica de 0,1 g de precisión (Mettler Toledo), y el CH con xilohigrómetro de resistencia eléctrica (Lignomat). La densidad aparente ( $\rho$ ) de cada viga se calculó como el cociente entre la masa y su respectivo volumen.

La determinación Ed se realizó por el método de onda de impacto utilizando el equipo Microsecond Timer, de Fakopp. Se midió la velocidad de propagación de onda sónica en recorrer la distancia entre dos transductores, cada uno ubicado en las testas de la viga.



Ed se calculó de acuerdo a la ecuación (1):

$$E_d = \rho \times v^2 \quad (1)$$

donde:

- $\rho$  es la densidad de la viga ( $\text{kg/m}^3$ ),
- $v$  es la velocidad de propagación (m/s)

### 2.3. Ensayos mecánicos

La determinación del módulo de elasticidad en flexión se realizó mediante ensayos mecánicos i) con pesas y ii) en máquina universal.

Ensayo flexión por pesas, sobre la viga simplemente apoyada, se aplicó carga en forma incremental utilizando discos metálicos de 5 kg cada uno, y se midió la deformación correspondiente a cada incremento de carga mediante un transductor (Fig. 1). Este procedimiento se realizó en el tramo elástico del diagrama carga-deformación. El módulo de elasticidad (E pesas) se calculó de acuerdo a la ecuación (2):

$$E_{\text{pesas}} = \frac{\Delta P * L^3}{4 * \Delta y * b * h^3} \quad (2)$$

donde:

- $\Delta P$  es la diferencia de carga en el intervalo elástico (N),
- $\Delta y$  es la deformación en el intervalo elástico (mm),
- $L$  es la distancia entre apoyos de la viga (mm),
- $b$  y  $h$  son ancho y espesor de la viga, respectivamente (mm).

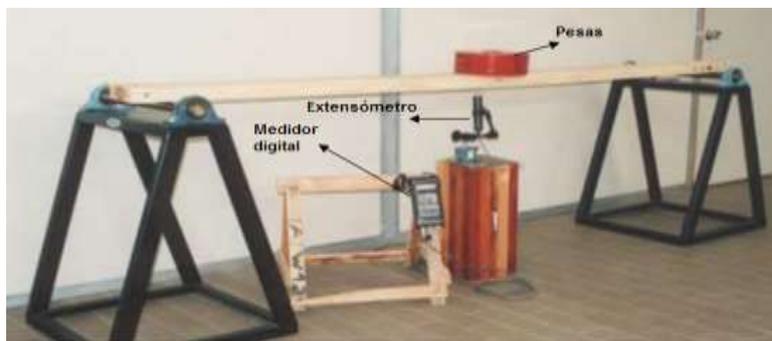
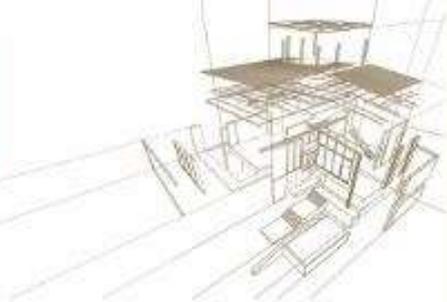


Figura 1: Dispositivo experimental para medir el módulo de elasticidad con pesas

Ensayo flexión en máquina universal. Todas las vigas fueron ensayadas a flexión estática en cuatro puntos de acuerdo a EN 408 (AENOR 2011), con la disposición de la viga simplemente apoyada y la aplicación de dos cargas en los extremos del tercio central. Se utilizó una máquina universal Minebea con una celda de carga de 250 kN y con capacidad para aplicar cargas a velocidad constante (ver Fig. 2). La deformación fue medida con dos extensómetros ubicados en el plano neutro en la mitad de la luz de la pieza. Para cada viga el módulo de elasticidad global en flexión ( $E_{m, g}$ ) se calculó de acuerdo a (3):

$$E_{m, g} = \frac{3aL^2 - 4a^3}{2bh^3 \left( 2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gb h} \right)} \quad (3)$$



donde:

- a es la distancia entre el punto de carga y el apoyo más próximo (mm),
- L es la luz de ensayo (mm),
- b y h son base y altura (mm) respectivamente,
- G es el módulo de elasticidad transversal, calculado como  $E_{m,g}/16$  (EN 384 2010),
- $F_2-F_1$  es el incremento de carga en la línea recta de regresión entre el 10% y 40% de la carga máxima estimada (N),
- $w_2-w_1$  es el incremento de deformación correspondiente a  $F_2-F_1$  (mm).

Vale señalar que los ensayos fueron no destructivos, *i.e.*, realizados hasta lograr una carga máxima del 40% de la carga de rotura estimada. La carga máxima fue estimada previamente, a partir de 10 vigas de cada muestra ensayadas hasta la rotura.



Figura 2: Dispositivo experimental para determinar el módulo de elasticidad en máquina universal

El módulo de elasticidad y la densidad se ajustaron al 12% de CH de acuerdo a EN 384 (AENOR 2011), luego se determinaron los valores característicos de ambas propiedades de acuerdo a EN 14358 (AENOR 2016) y EN 384 (AENOR 2016).

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Clasificación Visual

La Tabla 2 indica el resultado de la aplicación de la norma UNIT 1261. La causa principal de rechazo fue el tamaño de nudos, observados tanto en la cara como en el canto.

Tabla 2: Resultados de la aplicación de la norma de clasificación visual UNIT 1261

Calidad visual	Número de piezas	Porcentaje (%)
EC1	71	24
EC0	177	59
Rechazo	51	17
Total	299	100

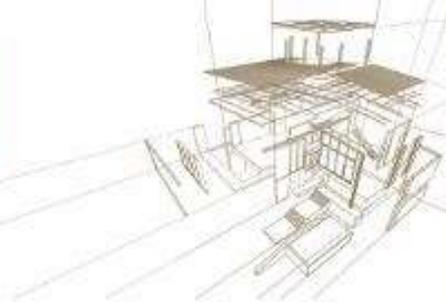
Los resultados son similares a los reportados por Fernández-Golfín et al. (1998) que clasificaron piezas de tamaño estructural de tres especies de *Pinus* (*P. radiata*, *P. sylvestris*, *P. pinaster*), de acuerdo a UNE 56544 (AENOR 2011). El 29% de las tablas



# CLEM

## 2019

18 al 20 de noviembre  
Hotel Cottage  
Montevideo - Uruguay



### 4º CONGRESO LATINOAMERICANO DE ESTRUCTURAS DE MADERAS

correspondieron a la clase ME1, 48% a ME2 y 23% fueron rechazadas. Se evidenció que tanto la presencia de médula como de madera juvenil no afectó significativamente la resistencia, pero produjo deformaciones excesivas que llevaron a excluir su presencia en la clase ME1. En la misma línea, Díez et al. (2000) que estudiaron piezas de tamaño estructural de *Pinus nigra* de Jaén, reportaron los siguientes resultados de la clasificación visual: 22% fueron asignadas a la clase ME1, 47% a la clase ME2 y 31% rechazadas.

La Tabla 3 indica el resultado de la aplicación de la norma UNIT 1261 considerando además, la presencia de médula como criterio restrictivo para las dos calidades visuales. Se puede observar un cambio significativo en el porcentaje de piezas clasificadas en cada clase comparado con los respectivos porcentajes de la Tabla 2.

Tabla 3: Resultados de la aplicación de la norma de clasificación visual UNIT 1261 considerando a la médula como un criterio de calidad no admitido

Calidad visual	Número de piezas	Porcentaje (%)
EC1	24	8
EC0	50	17
Rechazo	225	75
Total	299	100

Estos nuevos resultados son similares a los publicados por Acuña et al. (2004) para vigas de *Pinus pinaster*, donde sólo el 3% de las piezas calificaron como ME1, el 20% ME2 y 77% fueron rechazadas. Vale señalar que si bien el número de piezas clasificadas considerando la ausencia de médula como criterio de aceptación en ambas clases se redujo claramente, en el análisis posterior (ítem 3.3) se estudia el efecto de restringir la presencia de médula en las propiedades mecánicas de las piezas clasificadas.

### 3.2 Ensayos mecánicos y densidad

La Tabla 4 presenta los resultados de las 248 piezas clasificadas EC1 o EC0 según UNIT 1261, los valores de Módulo de elasticidad obtenidos en ensayos mecánicos en máquina universal ( $E_{12}$  global) y por pesas ( $E_{pesas}$ ), y los valores determinados en ensayos dinámicos ( $E_d$  Fakopp). La densidad ( $\rho_{12}$ ) y el  $E_{12}$  global fueron corregidos a 12 % de CH de acuerdo a EN 384.

Tabla 4: Módulos de elasticidad estáticos y dinámico, y densidad de piezas clasificadas de acuerdo a UNIT 1261.

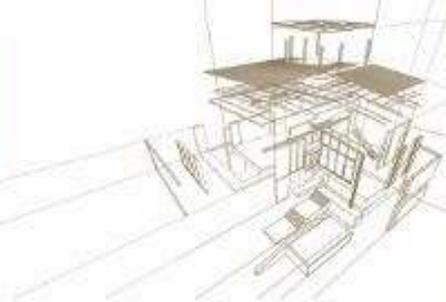
	Densidad	Ensayos estáticos		Ensayo dinámico
	$\rho_{12}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$E_{12}$ global Maq. Universal (N/mm <sup>2</sup> )	$E_{pesas}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_d$ Fakopp (N/mm <sup>2</sup> )
Promedio	0,403	6027	6165	7401
Desv std	0,036	1600	1662	1833
CoV %	9	27	27	25
n	248	248	238	248



# CLEM

## 2019

18 al 20 de noviembre  
Hotel Cottage  
Montevideo - Uruguay



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

Los valores medios de la densidad están dentro del rango para las especies de pinos uruguayos, y el CoV menor 10% indica homogeneidad en población. Los resultados son consistentes con estudios similares realizados por el grupo de investigación del Departamento de Proyectos Forestales del LATU (Pérez del Castillo 2001, O'Neill et al. 2002, O'Neill y Tarigo 2008). En particular O'Neill et al. (2003) reportaron valores promedio de MOE de 6796 N/mm<sup>2</sup> para piezas de tamaño estructural de *Pinus elliottii* de 24 años de Río Negro. El bajo valor la rigidez encontrado en el presente estudio se puede explicar debido a que 174 vigas de las 243 clasificadas presentaron médula, y que puede ser asociada a la presencia de madera juvenil, que a su vez induce a una reducción de las propiedades mecánicas de las piezas estudiadas.

En la Tabla 4 se puede observar los valores obtenidos de Módulo de elasticidad utilizando métodos NDT en comparación con el determinado en Máquina universal. Ambos métodos sobrestiman dicho valor, siendo el valor de  $E_{pesas}$  en promedio un 2,3 % mayor y para  $E_d$  fakopp un 22,8 en promedio mayor. Si bien ambos métodos sobrestiman el valor de Módulo de elasticidad determinado en máquina universal poseen una alta correlación con el mismo. Las Figuras 3 y 4 muestran las ecuaciones lineales y las correlaciones entre Módulo de elasticidad determinado por máquina universal y Fakopp ( $r = 0,92$ ) y máquina universal flexión con pesas ( $r = 0,95$ ).

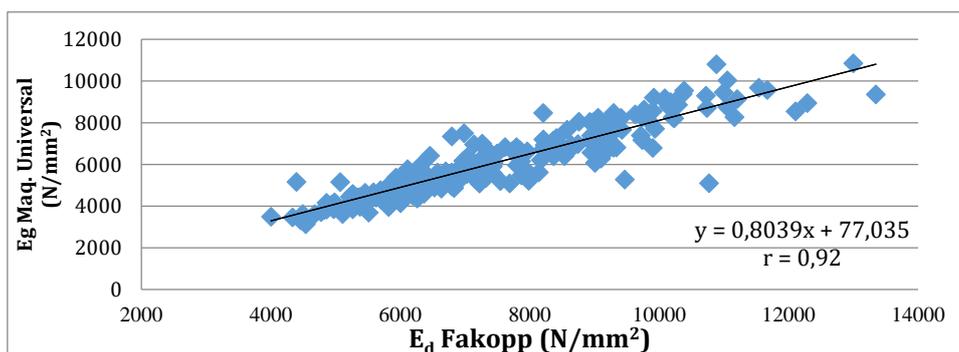


Figura 3. Relación entre  $E_g$  Máq. Universal y  $E_d$  Fakopp para la población de las vigas.

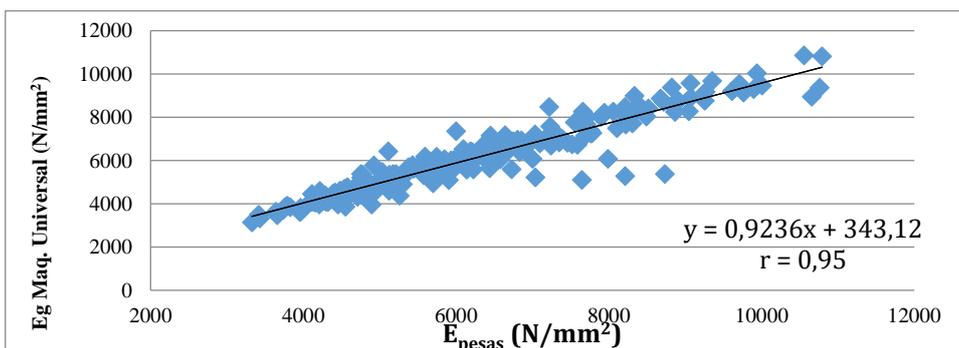
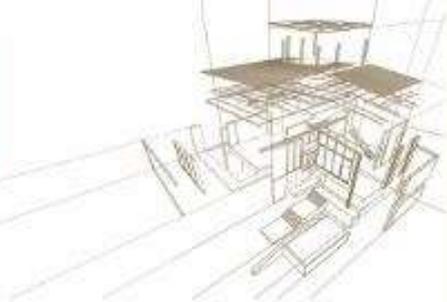


Figura 4. Relación entre  $E_g$  Máq. Universal y  $E_{pesas}$  para la población de las vigas

Ambos métodos tienen excelente correlación con los datos de la determinación en máquina universal por lo pueden utilizados como métodos para estimar el valor de  $E_g$  a nivel de aserraderos o barracas, siendo además métodos de fácil ejecución y relativamente económicos.



### 3.3 Valores característicos considerando la influencia de médula como criterio de calidad

La Tabla 5 presenta los valores característicos de rigidez y densidad, calculados a partir de las ecuaciones de EN 14358 y EN 384, para piezas clasificadas según UNIT 1261, y UNIT 1261 considerando además la presencia de médula como criterio restrictivo.

Tabla 5. Valores característicos calculados para las clases visuales establecidas en UNIT 1261 considerando o no a la médula como criterio de calidad.

Criterio calidad	Médula: se acepta sin restricción		Médula: NO se acepta	
	Clase EC1	Clase EC0	Clase EC1	Clase EC0
E <sub>medio</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	6642	5780	8330	6492
E <sub>0mean</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	6129	5288	7644	5881
ρ <sub>medio</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	0,404	0,403	0,412	0,408
ρ <sub>k</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	0,294	0,300	0,305	0,305
Número de vigas	71	177	24	50

Cuando la presencia de médula no es aceptada, los valores de E<sub>o</sub> mean y característico aumentan tanto para la clase EC1 como para la EC0. El aumento más significativo se da para los valores de EC1 donde se aprecia un incremento de 25% en el valor del módulo de elasticidad. Si se comparan los valores característicos E<sub>0,mean</sub> de la Tabla 5 con los establecidos en UNIT 1261 (7139 N/mm<sup>2</sup> y 5327 N/mm<sup>2</sup> para EC1 y para EC0, respectivamente) se observa que la aceptación de la médula sin restricción como criterio de calidad, puede conducir a una sobrestimación de los valores de rigidez, sugiriendo inconsistencias en las reglas de clasificación. Por el contrario, si la médula no es aceptada en ninguna de las dos clases, los valores de la rigidez encontrados en las piezas clasificadas en este trabajo son consistentes con los establecidos en la norma.

### 4. Conclusiones

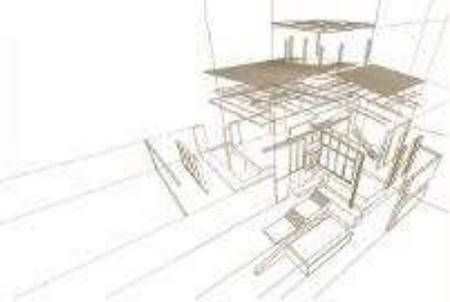
- a) En este trabajo se aplicó la norma de clasificación visual estructural UNIT 1261 para madera aserrada de pino. El 24 % de las piezas correspondieron a la calidad visual EC1, con valores de rigidez similares a los de C14 de EN 338; 59 % a la EC0 con valores de rigidez inferiores (E<sub>0</sub>=5.470 MPa) y 17 % fueron rechazadas.
- b) En un análisis posterior, se incluyó a la médula como criterio restrictivo, esto es, piezas sin médula. Se observó un incremento en los valores característicos de rigidez para las piezas de la clase EC1 y EC0 exentas de médula comparados con los valores de las piezas clasificadas de acuerdo a UNIT 1261,
- c) Los valores de rigidez estimados por los métodos NDT de pesas y Fakopp mostraron altos niveles de correlación con los valores obtenidos en máquina universal, confirmando la viabilidad del empleo de los dos primeros para estimar la calidad de la madera en aserraderos.



# CLEM

## 2019

18 al 20 de noviembre  
Hotel Cottage  
Montevideo - Uruguay



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

- d) Los resultados presentados en este trabajo corresponden a una única muestra de madera. Por tanto, para obtener resultados más concluyentes, se recomienda aumentar la base de datos realizando mayor cantidad de ensayos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al equipo técnico del Departamento de Materiales y Productos Forestales del Laboratorio Tecnológico del Uruguay, por la colaboración para la ejecución del presente trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, L., Díez Barra, R. Casado, M., Llorente, A., Lázaro, M.T. Basterra, A., Rela, E., Cueto, G. (2007). Clasificación de la madera estructural de *P. pinaster* Ait mediante ultrasonidos. III Congreso Iberoamericano de Productos forestales, Buenos Aires, Argentina.

Arriaga, F., Iñiguez, G., Esteban, M. (2005). Assessment of strength and stiffness properties using longitudinal stress wave on structural gross cross section timber of radiata pine (*Pinus radiata* D.Don), Symposium NDT 2005.

Baño, V., Mazzei, C., Moya, L., Dieste, S. (2018). Diseño de puentes realizados con madera de procedencia local para el paso de vehículos pesados en el sector agrícola y forestal. Informe Técnico. Serie FPTA-INIA, Uruguay. ISSN: 1688-924X.

Brashaw, B.K., Bucur, V., Divos, F., Goncalves, R., Lu, J., Meder, R., Pellerin, R.F., Potter, S., Ross, R.J., Wang, X., Yin, Y. (2009). Nondestructive testing and evaluation of wood: A worldwide research update. *Forest Prod. J.* 59(3): 7-14.

Cagno, M; Cardoso, A.; O'Neill, H.; Moya, L. 2014. Relación entre módulos de elasticidad dinámico y estático, y entre resistencia a flexión para piezas de madera de pinos de tamaño estructural. XIV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal, Brasil, 9 pp.

Conde, M; Fernández-Golfín; Hermoso E. (2007). Mejora de la predicción de la resistencia y rigidez de la madera estructural con el método de ultrasonidos combinado con parámetros de clasificación visual. *Materiales de Construcción* Vol. 57, 288, 49-59 octubre-diciembre 2007 ISSN: 0465-2746. Instituto de Ciencias de la Construcción. Madrid, España.

Dieste, A. (2012). Programa de promoción de exportaciones de productos de madera. Informe 1, Dirección Nacional de Industrias, Ministerio de Industria, Energía y Minería, Uruguay. [http://adimau.com.uy/articulos/07\\_programa\\_de\\_promocion\\_de\\_exportaciones\\_de\\_productos\\_de\\_madera\\_2012.pdf](http://adimau.com.uy/articulos/07_programa_de_promocion_de_exportaciones_de_productos_de_madera_2012.pdf)

Diez, M.; Conde, M.; Fernández-Golfín, J.; Roskopf, S. 2000. Clasificación visual de madera estructural de pino laricio: comparación de resultados usando las normas UNE 56.544 y DIN 4074. *INIA. Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales.* 9(2): 375 - 380. España

Fernández-Golfín, J.I., Díez Barra, M.R., Hermoso, E., Mier, R. (2003). Manual de clasificación de madera. AITIM, España. ISBN 84-87381-26-X.

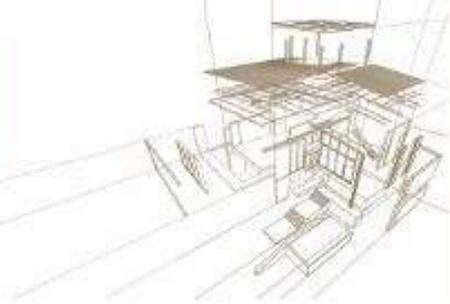
Fernández-Golfín, J.I., Díez Barra, M.R., Gutiérrez, A. (1998). Caracterización mecánica de la madera aserrada de uso estructural, clasificada visualmente de acuerdo con la norma UNE 56.544. *Mater. Construcc.* 48(252): 45-59. España.



# CLEM

## 2019

18 al 20 de noviembre  
Hotel Cottage  
Montevideo - Uruguay



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

Hanhijärvi, A., and Ranta-Maunus, A. (2008). Development of strength grading of timber using combined measurement techniques: Report of the Combigrade-project - phase 2. (VTT Publications; No. 686). Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland.

MGAP (2018). Resultados de la cartografía forestal nacional 2018. Dirección General Forestal, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Uruguay.

[http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/informe\\_de\\_resultados\\_de\\_la\\_cartografia\\_2018.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/informe_de_resultados_de_la_cartografia_2018.pdf)

Moya, L.; Cardoso, A.; Cagno, M.; O'Neill, H. (2015) Caracterización estructural de madera aserrada de pinos cultivados en Uruguay, Maderas, Ciencia y Tecnología 17(3):597-612. doi:10.4067/S0718-221X2015005000053.

O'Neill, H.; Tarigo, F.; Trambauer, C. 2002. Propiedades mecánicas de *P. elliotii* Eng. del litoral del Uruguay. LATU/JICA, Montevideo, Uruguay. 43 p. (Informe N° 2).

O'Neill, H.; Tarigo, F. 2003. Comportamiento en flexión de *E. grandis*, *P. taeda* y *P. elliotii* de madera de tamaño real y de pequeñas probetas sin defectos. LATU, Montevideo, Uruguay. 6 p. (Nota Técnica N° 2).

O'Neill, H.; Tarigo, F. 2008. Propiedades mecánicas de *P. elliotii* Eng del Norte del Uruguay. LATU/JICA, Montevideo, Uruguay. 41 p. (Informe de Investigación N° 7).

Pérez Del Castillo, A; De Castro, R; Ohta, S. (2000a). Ensayos de propiedades mecánicas de *Pinus taeda* por seis métodos no destructivos, LATU, Montevideo, Uruguay, 23 p. (Informe de Investigación N° 1)

Pérez Del Castillo, A; De Castro, R; Ohta, S. (2000b). Índices de calidad de madera en *Pinus taeda* de Rivera para la optimización en el uso final. LATU, Montevideo, Uruguay. 22 p. (Informe de Investigación N° 2).

Pérez Del Castillo, A. 2001. Módulo de elasticidad y módulo de rotura en tablas de tamaño real de *Pinus elliotii* del sur de Uruguay. LATU/JICA, Montevideo, Uruguay. 26 p. (Informe de Investigación N° 7).

UNE - EN 408. AENOR (2011) Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Madrid, España.

UNE - EN 384. AENOR (2016) Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades y la densidad. Madrid, España.

UNE - EN 14358. AENOR (2016) Estructuras de madera. Determinación y verificación de los valores característicos. Madrid, España.

UNE 56544. AENOR (2011). Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas. Madrid, España.

UNIT 1261 (2018). Madera aserrada de uso estructural. Clasificación visual. Madera de pino taeda y pino ellioti (*Pinus taeda* y *Pinus elliotii*), Montevideo, Uruguay.

Vega, A. (2013). Caracterización estructural de madera de *castanea sativa* Mill. Clasificación visual y evaluación mediante métodos no destructivos. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, E.P.S., Lugo. 247 p.

Yang, B.Z., Seale, R.D., Shmulsky, R., Dahlen, J., Wang, X. (2015). Comparison of nondestructive testing methods for evaluating no. 2 southern pine lumber: Part A, modulus of elasticity. Wood Fiber Sc. 47(4):375-384.