

VALIDACIÓN DE UN MÉTODO ACÚSTICO NO DESTRUCTIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RIGIDEZ DE TABLAS ASERRADAS DE PINO RESINOSO (*Pinus elliotti* y *Pinus taeda*) CULTIVADO EN EL NORDESTE DE ARGENTINA

NON-DESTRUCTIVE ACOUSTIC METHOD VALIDATION FOR THE STIFFNESS DETERMINATION OF SAWN BOARDS OF RESINOUS PINE (*Pinus elliottii* and *Pinus taeda*) GROWN IN THE NORTHEAST OF ARGENTINA

Fecha de recepción: 22/09/2016 // Fecha de aceptación: 02/05/2017

Pamela Yohana Fank

Ing. Civil, Becaria Doctoral CONICET, Grupo GEMA, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional. Ingeniero Pereira 676 – Concepción del Uruguay – Entre Ríos. Correo: pamela_fank@yahoo.com.ar

Ciro Andrés Mastrandrea

Ing. Forestal, Técnico del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuarias INTA Concordia - Entre Ríos. Correo: mastrandrea.ciro@inta.gob.ar

RESUMEN

El presente trabajo reporta los resultados de una investigación sobre la aplicabilidad del método acústico por vibraciones para la determinación del módulo de elasticidad en madera aserrada de pino resinoso (*Pinus taeda/elliottii*) cultivado en el nordeste de Argentina. El proyecto empírico involucró 2 muestras con un total de 293 tablas. El módulo de elasticidad dinámico (MOEd) fue estimado utilizando el equipo “Fakopp Portable Lumber Grader” y el módulo de elasticidad estático (MOEe) fue determinado siguiendo los procedimientos de la norma IRAM 9663, (2013). Los resultados mostraron que, si bien el MOEd sobreestima levemente al valor del MOEe, el empleo del mismo presenta una ventaja operativa para fines prácticos.

Palabras clave: rigidez, madera estructural, frecuencia de vibración longitudinal.

SUMMARY

This paper reports the results of an investigation regarding the suitability of using the acoustic method to determine the modulus of elasticity in sawn timber of resinous pine (*Pinus taeda/elliottii*) grown in the Northeast of Argentina. The empirical project involved 2 samples with a total of 293 boards. The dynamic Modulus of Elasticity (MOEd) was estimated using the “Fakopp Portable Lumber Grader” equipment and the static Modulus of Elasticity (MOEe) was determined following the procedures of the IRAM standard 9663, (2013).

The results showed that, while MOEd slightly overestimates MOEe value, it has an operational advantage for practical purposes.

Keywords: stiffness, structural timber, longitudinal vibration frequency.

INTRODUCCIÓN

La superficie de bosques cultivados en Argentina alcanza aproximadamente 1,12 millones de hectáreas de las cuales el 59 % está constituido por plantaciones de coníferas (FAO, 2004). Un análisis detallado de la distribución regional de los bosques de coníferas indica que el 83 % del total nacional se ubica en las provincias de Misiones y Corrientes. La primera reúne más del 50 % de dichas plantaciones -equivalente a unas 419.000 hectáreas- destacándose principalmente el pino resinoso de las especies *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* (SIFIP, 2015). A la vez, la mayor parte de la madera aserrada destinada a fines estructurales en nuestro país también proviene de estas especies, las que usualmente son comercializadas en forma conjunta debido a que presentan una apariencia similar y no existen estudios que evidencien una diferencia significativa entre sus propiedades físico-mecánicas (Moya *et al.*, 2015; IRAM 9662-3, 2015).

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (CIRSOC 601, 2013) define los métodos y disposiciones generales que se deben emplear en el diseño y construcción de estructuras para edificaciones y obras civiles con madera. No obstante, para que el proyectista pueda abordar el diseño estructural de un modo confiable de acuerdo dichos lineamientos, resulta fundamental que el mercado ofrezca madera aserrada clasificada en grados de resistencia. Lo cual implica que cada pieza se encuentra asociada a ciertas propiedades, siendo el módulo de elasticidad, la resistencia a flexión y la densidad, las más necesarias para el diseño y cálculo de estructuras (IRAM 9663, 2013).

La calidad de la madera puede ser determinada mediante dos procedimientos, uno visual y otro mecánico. El primero es el más antiguo y extendido, su principio consiste en la inspección visual de la madera registrando y evaluando las singularidades que en ella aparecen e influyen sobre su resistencia (Carreira y Alves Dias, 2006). El segundo se basa en un ensayo no destructivo a partir del cual se calcula el módulo de elasticidad y de él se deducen los restantes parámetros de resistencia mediante el uso de relaciones conocidas entre ambas variables (Glos, 1995). Dentro de esta última categoría, los más antiguos son los métodos acústicos. Éstos son de fácil y rápida aplicación, y se basan en el cálculo de la frecuencia natural de vibración, propiedad dinámica que se encuentra relacionada con las propiedades mecánicas del material (Íñiguez González, 2007).

En Argentina se encuentra normalizado el método de clasificación visual en grados de resistencia, siendo la norma IRAM 9662-3, (2015) la empleada para el caso específico de las tablas de pino resinoso (*Pinus taeda*, *Pinus elliottii*) cultivado en el nordeste del país. Cabe destacar que la madera proveniente de ambas especies presenta un número considerable de

nudos debido a la forma característica de crecimiento de las coníferas (Hoffmeyer, 1995), lo cual genera que la medición de tales singularidades resulte una tarea laboriosa y, en consecuencia, que la aplicación del método de clasificación visual no sea sencilla ya que la nudosidad es un factor determinante para la asignación de clases debido a su efecto perjudicial sobre las propiedades mecánicas (Dávalos-Sotelo y Ordóñez, 2011). Otros parámetros de importancia son la presencia de médula y el ancho de los anillos de crecimiento. El primero, al estar asociado a la madera juvenil que se desarrolla en los primeros años de vida del árbol, resulta una variable reductora de la capacidad resistente (Chan Martín *et al.*, 2002). El segundo se encuentra relacionado de forma directa con la densidad de la madera, propiedad física que influye en las propiedades mecánicas (Haselein *et al.*, 2000).

Como una manera de dar otro paso al avance iniciado con la normalización de la clasificación visual de tablas de pino taeda-elliottii (IRAM 9662-3, 2015) en el año 2006 y, a la vez, con el fin de lograr un mejor rendimiento del material proveniente de bosques implantados de crecimiento rápido y turnos de rotación cortos -situación actual de las plantaciones con pino resinoso del nordeste del país-, se contempla la posibilidad de predecir el módulo de elasticidad (MOE) a través de ensayos no destructivos por vibraciones. Esto permitiría la asignación de propiedades más precisas y de un modo más rápido de lo que actualmente es posible con apreciación visual.

El objetivo del presente estudio consiste en verificar si el método acústico por vibraciones utilizando el equipo PLG (Portable Lumber Grader) resulta adecuado para estimar el valor del MOE para tablas aserradas de madera de pino resinoso de las especies *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

El material destinado a la investigación empírica estuvo conformado por 2 muestras cuyas piezas fueron extraídas de árboles cultivados en la provincia de Misiones, los de *Pinus taeda* fueron obtenidos de una plantación de 30 años de edad sometida a 2 turnos de poda y los de *Pinus elliottii* de una forestación de 27 años sin práctica de poda aplicada. Se adoptó una sección transversal única de 1 x 4 pulgadas por ser la de uso más frecuente en el país tanto en calidad de madera aserrada como para la elaboración de vigas laminadas.

Conforme a la base estadística que requiere la calibración de la seguridad según los modernos lineamientos del diseño estructural (CIRSOC 601, 2013; IRAM 9664, 2013), cada muestra fue preparada con más de 40 piezas de madera aserrada en tamaño estructural, contemplando en cada caso una proporción similar de ambas especies de pino resinoso estudiado. Un detalle de las muestras diseñadas se exhibe en la tabla

1.

Tabla 1. Muestras diseñadas
Table 1. Test samples

Muestra	Especie	Cantidad de cuerpos de prueba	Dimensiones nominales [mm]
MUESTRA 1 Ensayos a flexión estática	<i>Pinus elliottii</i>	94	105 x 25 x 500
	<i>Pinus taeda</i>	100	
	Total	194	
MUESTRA 2 Ensayos a tracción paralela a las fibras	<i>Pinus elliottii</i>	50	105 x 25 x 1300
	<i>Pinus taeda</i>	49	
	Total	99	

Métodos

Todas las determinaciones se llevaron a cabo en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Concepción del Uruguay – Universidad Tecnológica Nacional (Entre Ríos).

En primera instancia se determinaron las dimensiones reales de las probetas y, de acuerdo a los lineamientos establecidos en la norma IRAM 9662-3, (2015), se registraron los principales parámetros (nudosidad, médula y ancho de anillos) que determinan en gran medida, la asignación de cada pieza de madera a una determinada clase de resistencia.

El proceso experimental involucró dos etapas, en la primera se determinó el módulo de elasticidad dinámico (MOEd) de cada cuerpo de prueba a través de la aplicación de una técnica acústica no destructiva y, en la segunda, se obtuvo el módulo de elasticidad estático (MOEe) por medio de pruebas estáticas.

1. Determinación del módulo de elasticidad dinámico (MOEd)

Para la determinación del MOEd se utilizó el equipo Portable Lumber Grader (PLG) perteneciente a la firma FAKOPP. Cada cuerpo fue posicionado sobre soportes con apoyos que permitieron la vibración libre de la pieza. Los pertenecientes a la Muestra 1 fueron colocados sobre un soporte central único que actuaba simultáneamente como balanza. En cambio, los de la Muestra 2, al ser de mayor longitud (1300 mm), se dispusieron sobre dos apoyos situados en los extremos, donde uno de los cuales actuaba a la vez como soporte y balanza (Figura 1).

De forma previa e inmediata a cada prueba se determinó el contenido de humedad de la piezas utilizando un higrómetro de contacto marca GANN, modelo Hydromette Compact “A”. Como se ilustra en la Figura 1, el ensayo consistió en producir la vibración de la pieza mediante un impacto de martillo en el extremo opuesto a donde estaba ubicado el micrófono, teniendo en cuenta que la dirección del golpe fuera lo más paralela posible a la dirección principal de la pieza.

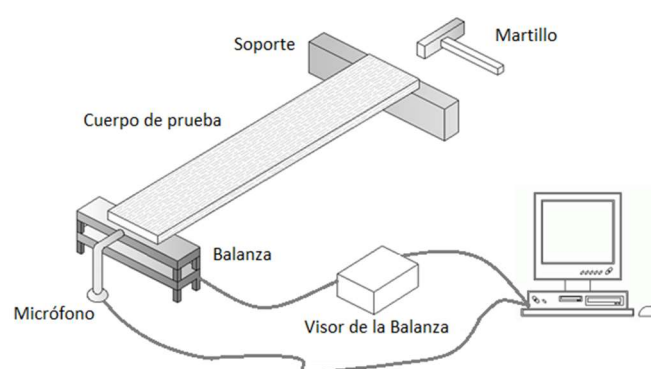


Figura 1. Disposición del equipo de medida de la frecuencia de vibración longitudinal
Figure 1. Arrangement of the longitudinal vibration frequency equipment

El micrófono fue el responsable de captar el sonido procedente de la vibración inducida y trasladarlo hasta el programa informático encargado de procesar dicha señal acústica. El equipo PLG arrojó instantáneamente como resultado la frecuencia de vibración de la pieza (*f*). Conociendo este valor, la longitud de la pieza (*L*) y su densidad aparente (*ρ*), fue posible calcular el módulo de elasticidad dinámico (*MOE_d*) con la siguiente expresión:

$$MOE_d = (2Lf)^2 \rho$$

2. Determinación del módulo de elasticidad estático (MOEe)

Para la determinación del MOEe se realizaron ensayos de flexión estática y tracción paralela a las fibras sobre cuerpos de prueba previamente acondicionados en una cámara climatizada a 20 +/- 2 °C de temperatura y 65 +/- 5 % de humedad relativa ambiente, conforme a las prescripciones de la norma IRAM 9663, (2013).

Los ensayos de flexión de plano (Figura 2 Izq.) fueron llevados a cabo con las tablas de la muestra 1, las cuales fueron cargadas simétricamente a una

distancia igual a 6 h de cada apoyo, siendo h la altura de la sección. Para la aplicación de las cargas se utilizó una máquina de ensayos universales -marca EMIC de accionamiento eléctrico- con capacidad de desplazar el cabezal a velocidad constante y precisión igual al 1 % de la carga aplicada. En los puntos de apoyo y de aplicación de la carga se colocaron placas de acero, de ancho no mayor que la mitad de la altura de la probeta, con objeto de reducir el aplastamiento localizado de la madera.

En todos los casos la velocidad de desplazamiento del cabezal de carga no superó el valor de los 0,003 de la altura de la probeta (mm/s) y se registraron las deformaciones correspondientes a escalones de carga de 500 N por medio de un comparador micrométrico con precisión de 0,01 mm ubicado en la parte inferior del centro de la luz.



Figura 2. Ensayos estáticos. Izq.: Flexión de plano. Der.: Tracción.
Figure 2. Static Testing. Left: Bending test. Right: Tension

Los ensayos de tracción paralela a las fibras (Figura 2. Der.) fueron llevados a cabo con las tablas de la muestra 2, las cuales fueron ubicadas con una longitud libre entre mordazas de 9 veces la mayor dimensión de la sección. Para la aplicación de las cargas se utilizó una máquina universal de ensayos -marca SHIMADZU de accionamiento hidráulico- con capacidad de desplazar el cabezal a velocidad constante y precisión igual al 1 % de la carga aplicada hasta un máximo de 1000 kN.

Con el fin de obtener los valores de carga y deformación en período elástico necesarios para determinar el módulo de elasticidad, la velocidad de desplazamiento del cabezal de cargas fue menor a 0,00005 de la luz libre entre mordazas (mm/s) y las deformaciones fueron medidas por medio de dos comparadores micrométricos con precisión de 0,001 mm, ubicados sobre ambas caras angostas opuestas en un segmento de longitud igual a 5 veces el ancho de la probeta y separado al menos 2 veces su ancho del extremo de las mordazas.

Una vez finalizada cada prueba se cortó una fracción de la pieza de madera libre de defectos, la que fue destinada a la determinación del contenido de humedad de acuerdo a la norma ISO 3130, (1975). La medición de las masas se llevó a cabo con una balanza electrónica (precisión 0,01 g) y el secado del trozo hasta lograr su masa anhidra, se realizó en estufa a una temperatura de 103 +/- 2 °C.

Los valores del módulo de elasticidad estático correspondientes a la Muestra 1 (MOE_e_f) y a la Muestra 2 (MOE_e_t) fueron calculados con las siguientes expresiones (IRAM 9663, 2013):

$$MOE_{e_f} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{(w_2 - w_1)}{(P_2 - P_1)} \right)}$$

$$MOE_{e_t} = \frac{l_1 (P_2 - P_1)}{A (w_2 - w_1)}$$

Siendo a : distancia entre el punto de carga y el apoyo más próximo, b : ancho de la sección transversal, h : altura de la sección, l : luz en flexión, A : área de la sección transversal, l_1 : longitud base de medida igual a 5 veces la mayor medida de la sección transversal, $P_2 - P_1$: incremento de carga en la parte recta de la curva de carga/deformación, $w_2 - w_1$: incremento de deformación correspondiente a $P_2 - P_1$.

Con el fin de analizar resultados comparables, todos los valores del módulo de elasticidad estático fueron ajustados a un contenido de humedad del 12 % según IRAM 9664, (2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Considerando que el contenido de humedad se encuentra estrechamente relacionado con las propiedades mecánicas de la madera, se calcularon los valores de este parámetro para cada una de las muestras tanto para los ensayos destinados a la obtención del módulo de elasticidad dinámico como para el estático, puesto que ambos se llevaron a cabo en diferentes períodos. Los resultados obtenidos para los ensayos por vibraciones arrojaron un valor medio del contenido de humedad del 10,9 % y 10,5 %, asociados a un coeficiente de variación del 11 % para la muestra 1 y muestra 2, respectivamente. Por su parte, para las pruebas estáticas se registraron valores del contenido de humedad del 11,7 % y 12,8 % asociados a un coeficiente de variación de 6 % y 7 % para la muestra 1 y muestra 2, respectivamente. Como en todos los casos el contenido de humedad resultó cercano al 12 % se puede descartar una influencia desigual de esta variable sobre la rigidez de las distintas muestras.

Teniendo en cuenta que para estructuras usuales el reglamento CIRSOC 601, (2013) considera adecuado el empleo de valores de rigidez medios para el cálculo de las deformaciones instantáneas, en este trabajo se analizan únicamente los valores MOE promedio.

En la tabla 2 se presentan los resultados del módulo de elasticidad dinámico (MOEd) y del módulo de elasticidad estático (MOEe) obtenidos para cada una de las muestras estudiadas. Los valores promedio del MOEd arrojan valores superiores a los del MOEe en un 6 % y 11 % para la Muestra 1 y 2, respectivamente. Esta tendencia (MOEd > MOEe) también fue encontrada para otras especies (Íñiguez González, 2007; O'Neill, 2004) y una razón que explica este fenómeno puede ser el efecto de la velocidad de sollicitación, la cual en pruebas dinámicas provoca una respuesta de carácter viscoelástico de la madera aumentando así la resistencia elástica aparente del espécimen en estudio (Sotomayor Castellanos y Villaseñor Aguilar, 2006).

El grado de predicción de la rigidez de las dos muestras se evaluó a partir del análisis de regresión lineal entre el MOEd calculado con la frecuencia de vibración longitudinal y el MOEe obtenido de los ensayos estáticos (Gráfico 1). La bondad de ajuste se estimó mediante el coeficiente de determinación (R^2), el cual arrojó un valor igual a 0,85 y 0,84 para la Muestra 1 y 2, respectivamente. Un resultado similar fue obtenido para el pino laricio (*Pinus nigra subsp. salzmannii*) cultivado en España ($R^2 = 0,83$) (Íñiguez González *et al.*, 2007) y para el *Eucalyptus grandis* proveniente de Uruguay ($R^2 = 0,84$) (O'Neill, 2004). Asimismo, investigaciones llevadas a cabo con madera de *Pinus taeda* cultivado en Uruguay arrojaron valores superiores para el coeficiente de determinación (R^2 entre 0,89 y 0,96) (Pérez del Castillo y de Castro, 2000).

A continuación se presenta y discute el análisis de los resultados obtenidos separando las piezas de cada muestra en función de los principales parámetros visuales con influencia sobre las propiedades mecánicas, previamente analizados en la introducción. Se contemplaron tres perfiles, siendo el primero el efecto de la médula, por lo que se dividieron las piezas en dos grupos, uno que no admite la presencia de médula y otro que si la admite. En segundo y tercer lugar se consideraron la nudosidad y el espesor de los anillos de crecimiento, en ambos casos se agruparon las piezas en 3 categorías respetando los límites propuestos por la norma IRAM 9662-3, (2015). En la Tabla 3 se resumen los resultados obtenidos para el MOE de la Muestra 1 y de la Muestra 2, respectivamente, asociadas a los 3 perfiles analizados. En el mismo se presentan los valores medios obtenidos tanto para el MOEe como para el MOEd, además del valor de la relación existente entre ellos (MOEd/MOEe) junto a la cantidad de cuerpos de prueba asociados. En términos generales, en la Tabla 3 se advierte que para los 3

perfiles analizados los valores MOEd promedio son superiores a los valores MOEe promedio, similar tendencia encontrada (MOEd > MOEe) para las muestras completas (Tabla 2).

Contemplando el primer perfil, tanto para la muestra 1 como para la muestra 2 (Tabla 3) se observa que la estimación del MOEe a través del MOEd es más precisa cuando la pieza no contiene médula. Teniendo en cuenta que la velocidad de propagación del sonido varía con las características del medio donde la onda sonora atraviesa, las diferencias encontradas pueden explicarse por la presencia de un alto porcentaje de madera juvenil en el grupo que admite médula, considerando que ésta se encuentra asociada a importantes diferencias en sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y anatómicas con respecto a la madera adulta, donde la calidad se mantiene casi constante (Pérez del Castillo y de Castro, 2000).

Al analizar la nudosidad, se observa que en ambas muestras (Tabla 3) existe mayor precisión en la estimación del MOEe cuando el material es de mejor calidad (menor índice de nudos) y que ésta decae a medida que aumenta el límite de nudosidad permitido. Lo cual resulta coherente porque las ondas acústicas son influenciadas principalmente por el tamaño de los nudos. Lo cual explica que las tablas que contienen un mayor porcentaje de nudos tienden a tener menor velocidad de propagación de la onda asociada a mayor variabilidad y dispersión de las mediciones (Quil Villa, 2009). Respecto al tercer perfil (Tabla 3), el grupo integrado por piezas con anillos de crecimiento menores a los 10 mm tanto para la muestra 1 como para la muestra 2 presenta una buena precisión en la estimación del MOEe, lo cual se condice con el hecho de que la velocidad del sonido depende del medio en el cual se transmite, siendo mayor en los materiales más densos (Niemz *et al.*, 1994). No obstante, no se evidencia dicha tendencia al analizar los demás grupos de este perfil, lo que se le puede atribuir al posible efecto conjunto tanto de la presencia de médula como de nudos.

Tabla 2. Valor medio del módulo de elasticidad de cada muestra
Table 2. Mean value of the modulus of elasticity corresponding to each sample

Muestra	n	MOEd [N/mm ²]	MOEe [N/mm ²]
MUESTRA 1	194	7082 (CV = 34 %)	6666 (CV = 36 %)
MUESTRA 2	99	8600 (CV = 30 %)	7777 (CV = 34 %)

Ref.: MOEd: Módulo de elasticidad dinámico, MOEe: Módulo de elasticidad estático, CV: Coeficiente de variación; n: cantidad de cuerpos de prueba.

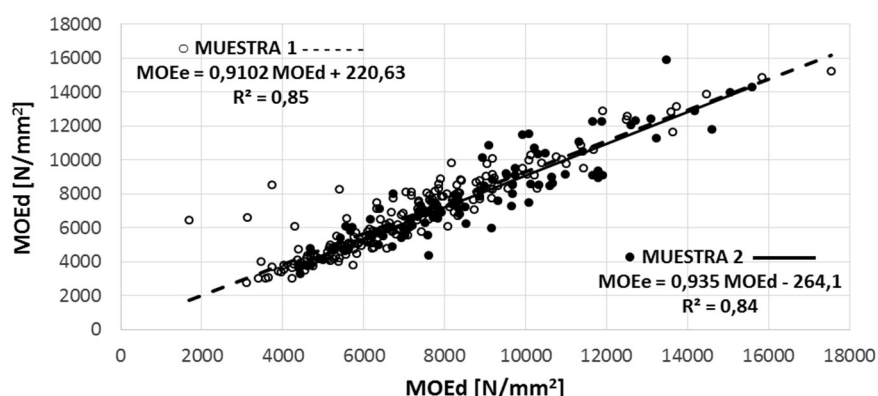


Gráfico 1. Recta de regresión lineal entre el módulo de elasticidad dinámico (MOEd) y el módulo de elasticidad estático (MOEe) para ambas muestras.

Graphic 1. Linear regression line between dynamic modulus of elasticity (MOEd) and static modulus of elasticity (MOEe) for both samples

Tabla 3. Valor medio del módulo de elasticidad para distintas calidades de madera
Table 3. Mean value of the modulus of elasticity for different timber qualities

Parámetros	Límites	n	MOEd [N/mm ²]	MOEe [N/mm ²]	MOEd/MOEe	
Muestra 1	Médula	No	7484	7168	1,04	
		Si	5709	4955	1,15	
	Nudosidad	< 1/3	82	7983	7687	1,04
		1/3 a 2/3	92	6479	6105	1,06
		> 2/3	20	6156	5057	1,22
	Anillos de crecimiento	< 10 mm	32	9763	9332	1,05
10 a 15 mm		97	7252	6952	1,04	
>= 15 mm		65	5507	4927	1,12	
Muestra 2	Médula	No	9517	8759	1,09	
		Si	6767	5814	1,16	
	Nudosidad	< 1/3	41	9890	9092	1,09
		1/3 a 2/3	46	7974	7187	1,11
		> 2/3	12	6593	5546	1,19
	Anillos de crecimiento	< 10 mm	28	10788	9991	1,08
		10 a 15 mm	45	8367	7437	1,13
		>= 15 mm	26	6648	5983	1,11

Ref.: MOEd: Módulo de elasticidad dinámico, MOEe: Módulo de elasticidad estático, n: cantidad de cuerpos de prueba.

CONCLUSIÓN

Puede concluirse que, si bien el MOEd obtenido a través de la técnica de vibración longitudinal utilizando el equipo PLG sobreestima levemente al valor del MOEe, el empleo del mismo presenta una ventaja operativa sobre fines prácticos en piezas de madera aserrada de *Pinus taeda/elliottii* de diferentes longitudes, lo cual alienta al desarrollo de nuevos estudios sobre el tema. A la vez, este estudio corroboró la influencia que ejercen los principales parámetros visuales (nudosidad, médula y anillos de crecimiento) en la transmisión de las ondas acústicas, lográndose una mayor precisión en la estimación del MOEe en aquellas piezas de mejor calidad.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la empresa Laharrague Chodorge S.A. por la donación del material de ensayo, a los ingenieros Eduardo Torrán y Ricardo Gómez por su participación en el acondicionamiento y ajuste del equipamiento, y a los becarios del grupo GEMA por su colaboración en la realización de los ensayos del programa empírico.

BIBLIOGRAFÍA

- CARREIRA, M.; Alves Dias, A. 2006. Critérios para classificação visual de peças estruturais de *Pinus SP*. Cadernos de Engenharia de Estruturas, 8(34): 17-43.
- CIRSOC 601 2013. Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Buenos Aires. Argentina.
- CHAN MARTÍN, M.; Araujo Molina, A.; Azueta García, M. 2002. Los defectos naturales en la madera aserrada. Ingeniería Revista Académica, 6(001): 29-38.
- DÁVALOS-SOTELO, R.; Ordóñez Candelaria, V. R. 2011. Influencia de los nudos sobre la resistencia en flexión estática en madera de tamaño estructural. R. Ciencia Forestal México, 2(7): 43-46.
- FAO 2004. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020, Informe Nacional Argentina. Disponible en <http://goo.gl/v0SCxZ>, acceso el 12/07/2016.
- GLOS, P. 1995. Strength grading. Basis of design, material properties, structural components and joints. Timber Engineering STEP 1, pp. A6/1-A6/8. Centrum Hout, The Netherlands.
- HASELEIN, C.; Cechin, E.; Santini, E.; Gatto, D.A. 2000. Características estruturais da madeira de *Pinus elliottii* engelm aos 30 anos de idade. Revista Ciência Florestal, 10(2): 135-144.
- HOFFMEYER, P. 1995. Wood as a building material. Timber Engineering. Basis of design, material properties, structural components and joints. STEP 1: pp. A4/1-A4/21. Centrum Hout, The Netherlands.
- ÍÑIGUEZ GONZÁLEZ, G. 2007. Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 236 pp.
- ÍÑIGUEZ GONZÁLEZ, G.; Arriaga Martitegui, F.; Herrero, M.; Argüelles Álvarez, R. 2007. Los métodos de vibración como herramienta no destructiva para la estimación de las propiedades resistentes de la madera aserrada estructural. Informes de la Construcción, 59(506): 97-105.
- IRAM 9662-3 2015. Madera laminada encolada estructural, Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 3: Tablas de pino taeda y elliotti (*Pinus taeda* y *elliottii*). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.
- IRAM 9663 2013. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.
- IRAM 9664 2013. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires. Argentina.
- ISO 3130 1975. Wood – Determination of moisture content for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization.
- 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.
- NIEMZ, P.; Aguilera, A.; Rolleri, A. 1994. Velocidad de propagación del sonido en algunas especies creciendo en Chile y su relación con propiedades físicas. Revista Bosque 15(2):49-54.
- O'NEILL, H. 2004. Estimación de la calidad de la madera producida en el Uruguay para uso estructural

y su evaluación en servicio por métodos no destructivos. Departamento de Proyectos Forestales - Laboratorio Tecnológico del Uruguay. Nota técnica, 9 pp.

PÉREZ DEL CASTILLO, A.; de Castro, R.; Ohta, S. 2000. Ensayos de propiedades mecánicas de *Pinus taeda* por seis métodos no destructivos. Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales LATU-JICA (1998-2003). Informe de Investigación N°1, 28 pp.

QUIL VILLA, C. 2009. Estimación del módulo de elasticidad por medio de la velocidad de propagación del sonido en madera de Aromo australiano. Trabajo de Titulación. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 73 pp.

SIFIP 2015. Sistema de Información Foresto-Industrial Provincial.

SOTOMAYOR CASTELLANOS, J.; Villaseñor Aguilar, J. 2006. Comportamiento viscoelástico de la madera de *Prosopis* sp. *Madera y Bosques* 12(2): 3- 15.