

## ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN FLEXIÓN Y TRACCIÓN PARALELA A LAS FIBRAS EN LA MADERA DE PINO RESINOSO CULTIVADO EN EL NORDESTE DE ARGENTINA

<sup>1</sup>Pamela Y. Fank (pamela\_fank@yahoo.com.ar), <sup>2</sup>Pablo M. Stefani (pmstefan@fi.mdp.edu.ar), <sup>1</sup>Juan C. Piter (jc.piter@gmail.com)

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Concepción del Uruguay (Argentina)  
Departamento de Ingeniería Civil – Grupo de Estudio de Maderas (GEMA)

<sup>2</sup>Universidad Nacional Mar del Plata - Facultad de Ingeniería (Argentina)  
División Polímeros INTEMA - CONICET

**RESUMEN:** La redacción del primer Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (CIRSOC 601 2013) motivó la necesidad de comprobar si las reglas de diseño adoptadas reflejan el comportamiento mecánico de las especies consideradas. La norma IRAM 9662-3 (2015) provee los valores característicos de la resistencia y el módulo de elasticidad en flexión y tracción para cada clase resistente de tablas de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* del nordeste del país, especies que proveen la mayor parte de la madera aserrada destinada al uso estructural en Argentina. Las propiedades de flexión fueron determinadas experimentalmente y las de tracción fueron derivadas de las anteriores según el criterio europeo (EN 384 2010) luego adoptado por Argentina (IRAM 9664 2013). Para comprobar la precisión de ese criterio se diseñó un proyecto empírico que abarcó dos muestras con un total de 335 tablas de las especies mencionadas. La muestra 1 se destinó a ensayos de flexión y la muestra 2 a ensayos de tracción paralela a las fibras. Los resultados mostraron que para las especies investigadas el criterio europeo –luego adoptado por Argentina– expresa adecuadamente la relación entre las propiedades mecánicas en tracción y flexión para propósitos prácticos vinculados al diseño estructural.

**Palabras Clave:** *Pinus taeda*; *Pinus elliottii*; clase resistente; madera estructural.

## ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN BENDING AND TENSION MECHANICAL PROPERTIES IN TIMBER OF RESINOUS PINE FROM THE NORTHEAST OF ARGENTINA

**ABSTRACT:** The writing of the first Argentinean design specification for wood construction (CIRSOC 601 2013) has promoted the need to verify if the adopted design rules reflect mechanical behavior of the species concerned. The Argentinean standard IRAM 9662-3 (2015) provides the strength and stiffness characteristic values in bending and tension for each strength grade of boards of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii*, species that provide most of the structural sawn timber in Argentina. Bending properties were determined experimentally and tensile properties were obtained from bending properties according to the European criterion (EN 384 2010), later adopted by Argentina (IRAM 9664 2013). In order to verify the suitability of this criterion, an empirical project enclosing 2 samples with a total of 335 boards of these species was designed. Sample 1 was destined to bending tests and sample 2 was prepared for testing in tension parallel to the grain. The results showed that the European criterion, later adopted by Argentina, properly expresses the relationship between tensile and flexural mechanical properties for practical purposes related to structural design.

**Keywords:** *Pinus taeda*; *Pinus elliottii*; strength grading; structural timber

## 1. 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, el 25 % por eucaliptos, el 10 % por salicáceas y el 6 % restante por otras de menor entidad (FAO). La región de la Mesopotamia, integrada por las provincias de Misiones, Corrientes y Entre Ríos, contiene más de la mitad de las plantaciones implantadas de este país. 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 300.000 hectáreas- destacándose principalmente el pino resinoso de las especies *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* (SIFIP).

Los cultivos de las dos especies antes señaladas proveen la mayor parte de la madera aserrada destinada a fines estructurales en Argentina. Lo cual, junto a la reciente redacción del primer Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (CIRSOC 601 2013) y a la necesidad del proyectista de abordar el diseño estructural de manera confiable, hace indispensable el conocimiento preciso del comportamiento mecánico de la madera aserrada de las especies antes mencionadas. Usualmente estas dos especies son cultivadas y 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; SANTINI *et al.* 2000).

En Argentina se encuentran vigentes dos normas que establecen métodos de clasificación por resistencia de la madera aserrada estructural de pino resinoso del nordeste argentino. La norma IRAM 9670 (2002) se utiliza para clasificar vigas y la IRAM 9662-3 (2015) se emplea para clasificar tablas, tanto destinadas a la fabricación de madera laminada encolada estructural como a su empleo en calidad de madera aserrada. Los valores característicos de las propiedades mecánicas, provistos para cada clase resistente por las normas IRAM antes mencionadas, constituyen un aporte indispensable para el empleo de los criterios de diseño adoptados por el Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (CIRSOC 601 2013).

Para la determinación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada para uso estructural, en Argentina se han adoptado los lineamientos europeos (EN 384 2010; EN 408 2010). Conforme a este criterio, las propiedades fundamentales –que se deben determinar experimentalmente para una determinada combinación especie/procedencia- son la resistencia a flexión, el módulo de elasticidad en flexión y la densidad (GLOS 1995a), pudiendo derivarse a partir de ellas las restantes propiedades mecánicas empleadas en el diseño. No obstante, considerando la importante variabilidad que caracteriza a este material estructural, así como la diversidad de especies y de regiones de cultivo (GUILLAUMET *et al.* 2014), se considera conveniente verificar para cada caso la eficacia de las relaciones encontradas por la experiencia europea.

En particular, la norma IRAM 9662-3 (2015) provee los valores característicos de la resistencia a flexión y a tracción de tablas de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* para cada una de las clases resistentes contempladas. El primero de ellos fue determinado experimentalmente y el segundo fue estimado igual al 60 % del anterior en congruencia con la experiencia europea (EN 384 2010) que fue luego incorporada a la normativa argentina (IRAM 9664 2013). En línea con el criterio adoptado por las normas europeas, las normas IRAM 9662-3 (2015) e IRAM 9664 (2013) consideran un único valor medio del módulo de elasticidad, que se obtiene experimentalmente del ensayo a flexión sobre piezas de tamaño estructural. Este valor medio es empleado en el diseño para calcular deformaciones tanto en miembros sometidos a flexión, como a tracción y compresión paralela a las fibras.

Estudios llevados a cabo con piezas de tamaño estructural han demostrado que, en comparación con la resistencia a flexión, la resistencia a tracción es afectada en mayor grado por aquellos defectos del material -tales como la nudosidad- que producen debilitamiento de la sección transversal y la modificación del desarrollo normal de las fibras (GLOS 1995b). A su vez, se han publicado resultados que muestran que la relación entre la resistencia a tracción y la obtenida en flexión tiende a aumentar al incrementarse la calidad