

Comportamiento mecánico de barras esbeltas de madera laminada encolada de Álamo 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' (*Populus deltoides*) del Delta del Río Paraná sometidas a esfuerzos de compresión

Mechanical behavior of slender bars of glued laminated wood of poplar 'Australian 129/60' and 'Stoneville 67' (*Populus deltoides*) of the Paraná River Delta subjected to compression stresses

Doctorando:

Lia Caren Meyer

UTN – Facultad Regional Concepción de Uruguay

lmeyer@frvt.utn.edu.ar

Doctorado en Ingeniería – Mención Materiales

Lugar de trabajo: GEMA (UTN - FRCU); GIDEC (UTN - FRVT)

Director:

Dr. Arq. Gamaliel López Rodríguez

Co-Director:

Dr. Inga. María Alexandra Sosa Zitto

Resumen

En el año 2016 con la aprobación del primer Reglamento Argentino de Estructuras de Madera, se da un impulso importante al poner a disposición de los profesionales una normativa con criterios de diseño para estas estructuras, con valores de referencias para las especie/procedencia estudiadas, que son la *Araucaria angustifolia* de Misiones, el *Eucalyptus grandis* de Entre Ríos, el *Pinus Taeda - Elliottii* de Misiones y Corrientes y el *Populus deltoides* del delta del río Paraná. Con la utilización de elementos laminados encolados surge la necesidad de un proceso de fabricación que asegure la buena prestación. En Argentina las normas IRAM 9660/1/2 y 9661 del año 2015 establecen las pautas de fabricación y control para estos elementos estructurales. En este trabajo el objetivo del estudio es determinar el comportamiento resistente y elástico de barras esbeltas de madera laminada encolada de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' cultivado en Argentina, sometidas a esfuerzos de compresión.

Se desarrolló el cálculo teórico de la tensión crítica según los criterios del reglamento INTI-CIRSOC (2016a) y Eurocódigo 5 (EN 1995-1-1 2005) para barras esbeltas comprimidas en piezas de madera encolada de *Populus deltoides* a los efectos de evaluar el nivel de seguridad que proveen los procedimientos de cálculos, verificar las diferencias entre ambos y comparar los resultados obtenidos de los ensayos de 320 barras esbeltas.

Palabras claves: pandeo pieza laminada, compresión, álamo

Abstract

In 2016, with the approval of the first Argentine Regulation of Wooden Structures, an important impulse was given by making available to professionals a regulation with design criteria for these structures, with reference values for the species / provenance studied, which they are the *Araucaria angustifolia* of Misiones, the *Eucalyptus grandis* of Entre Ríos, the *Pinus Taeda - Elliottii* of Misiones y Corrientes and the *Populus deltoides* of the Paraná River delta. The use of glued laminated elements resulted in the need for a manufacturing process that ensures good performance. In Argentina, IRAM standards 9660/1/2 and 9661 of the year 2015 establish the manufacturing and control guidelines

for these structural elements. In this work the objective of the study is to determine the resistant and elastic behavior of slender bars of glued laminated wood of *Populus deltoides* 'Australian 129/60' and 'Stoneville 67' cultivated in Argentina, subjected to compression efforts.

The theoretical calculation of the critical stress was developed according to the criteria of the INTI-CIRSOC regulation (2016a) and Eurocode 5 (EN 1995-1-1 2005) for slender bars compressed in glued pieces of *Populus deltoides* for the purpose of evaluating the security level provided by the calculation procedure, verify the differences between the two and compare the evaluated results of the trials of 320 slender bars.

Keywords: buckling on glued piece; compression; poplar

Introducción

En Argentina se privilegió históricamente la construcción de estructuras de hormigón y en menor medida las de acero. El uso de la madera se limitó a la utilización de tirantería de madera nativa o estructuras reticuladas. La poca trascendencia dada a las estructuras de madera se evidencia en que recién en el año 2016 se aprueba el primer Reglamento Argentino de Estructuras de Madera (INTI CIRSOC 601 2016a).

En Europa, con mayor tradición en la construcción con madera, poseen desde hace muchos años un reglamento para la construcción con madera: Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera, que se actualiza sistemáticamente, siendo la última versión en el año 2016.

Los elementos estructurales en estudio, sometidos a esfuerzos de compresión, son utilizados frecuentemente como columnas aisladas o como barras de estructuras reticuladas (cordones, montantes y diagonales). Por su parte, el conocimiento de su capacidad portante es de suma importancia y complejidad, por lo tanto, el colapso se produce por una bifurcación de la condición de equilibrio. Teniendo en cuenta que para su desarrollo se adoptó un marco teórico que considera el estado del conocimiento a nivel mundial, y que contempla desarrollar el plan de ensayos combinados con estudios de simulación numérica, para que los resultados obtenidos puedan ser comparados y discutidos en un contexto de validez internacional y nacional.

De acuerdo a la esbeltez del elemento comprimido se generan distintos mecanismos de rotura, desde la compresión pura para piezas cortas, pasando por el pandeo anelástico, hasta el pandeo elástico para piezas muy esbeltas. Los estudios conducen a fórmulas complejas para evaluar el comportamiento de estos elementos.

La utilización de elementos laminados encolados sumó a la problemática del conocimiento de las propiedades de la madera, la necesidad de un proceso de fabricación que asegure la buena prestación. En Argentina las normas IRAM 9660/1/2 y 9661 del año 2015 establecen las pautas de fabricación y control para estos elementos estructurales.

El objetivo del estudio es determinar el comportamiento resistente y elástico de barras esbeltas de madera laminada encolada de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' cultivado en Argentina, sometidas a esfuerzos de compresión.

Materiales y método

La madera a utilizar para el desarrollo de este trabajo es el álamo en los clones 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' proveniente del Delta del Rio Paraná. La madera se encuentra acopiada en el Laboratorio GIDEC de la Facultad Regional Venado Tuerto. Se desarrollará en este laboratorio los ensayos del programa experimental. La madera se acopio entablillada para un acondicionamiento preliminar de la humedad y posteriormente en cámara con humedad y temperatura contralada para el acondicionamiento final.



FIGURA 1: Acopio de madera 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67'

En primer lugar, se realizarán ensayos de flexión en el campo de las pequeñas deformaciones, destinados a determinar el módulo de elasticidad en flexión de las barras con esbeltez igual o superior a 70. Estas pruebas, que totalizan 160 probetas, se llevarán a cabo conforme a la norma EN 408 (2012) flexionando las barras alrededor del eje de menor momento de inercia. La aplicación de las cargas será la suficiente para lograr las deformaciones que permitan determinar el módulo de elasticidad global, pero sin afectar las propiedades mecánicas de la madera.

En segundo lugar, se ensayarán a compresión centrada las 320 barras, con esbeltez comprendida entre $30 \leq \lambda \leq 100$. Estas pruebas, se orientan a la obtención de datos referidos al comportamiento mecánico de las barras comprimidas de tamaño estructural. Con el propósito de comparar valores del 5-percentil de tensión crítica determinados a través de los lineamientos de diseño del Reglamento INTI-CIRSOC 601 (2016a) y del Eurocódigo 5 (2006), se procedió a efectuar el cálculo de la tensión crítica en función de la esbeltez pero empleando las ecuaciones adoptadas en las reglas de diseño antes mencionadas.

La tercera serie comprende pruebas de compresión paralela a las fibras, sobre cuerpos con esbeltez despreciable, llevados a cabo conforme a la norma EN 408 (2012). Estas pruebas, que totalizan 160, y proveerán información acerca del comportamiento mecánico en compresión sin deflexión lateral.

Avances del desarrollo experimental

Se fabricaron 160 piezas con sección nominal igual a 60 mm x 90 mm x 2440 mm, conformadas por 3 tablas cada una. La fabricación se efectuó de acuerdo a las disposiciones de las normas IRAM 9660-1 (2015), 9660-2 (2013) y 9661 (2013). La madera es Clase 1 en donde: Médula no admite; Nudosidad menor o igual a 1/3; Desviación de las fibras menor a 1:12, y se analizan todos parámetros dados por la norma IRAM 9662-1, de cada pieza con características o defectos cuya existencia o magnitud se debe evaluar visualmente en cada tabla y la asignación a una clase está determinada por la situación más desfavorable. Cada pieza será luego cortada transversalmente para lograr las 320 barras para ensayar, para cada esbeltez se utilizarán 20 probetas de *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 20 de *Populus deltoides* 'Stoneville 67'.

Se utilizará un rango de esbeltez desde $\lambda = 30$ hasta $\lambda = 100$, en saltos de 10 en 10. El detalle del largo de las piezas es el siguiente:

λ	Longitud (mm)
30	520
40	693
50	866
60	1039
70	1212
80	1386
90	1559
100	1732

Estos elementos se encuentran en proceso de corte, para realizar los ensayos a flexión

Resultados y discusión

Se realizó el cálculo de la tensión crítica de pandeo según los criterios del reglamento INTI-CIRSOC (2016a) y el Eurocódigo 5 (EN 1995-1-1 2005) para barras esbeltas comprimidas en piezas de madera encolada de *Populus deltoides*. El objetivo es evaluar las diferencias entre ambas normativas y establecer las bases para el desarrollo experimental, que permita verificar a través de ensayos de laboratorio, los resultados obtenidos.

Se utiliza una sección nominal con dimensiones de 90 mm x 60 mm, y está conformada por tres tablas laminadas de espesor de 1", pegadas con adhesivo (Según norma IRAM 9660). La configuración de las piezas se la considera como biarticulada.

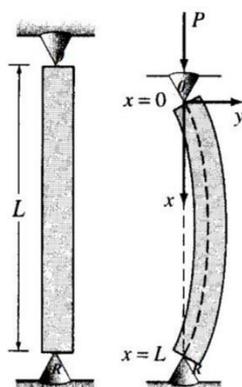


FIGURA 2: Esquema de carga

A partir de la normativa mencionada, se obtienen las fórmulas y el procedimiento de cálculo para obtener los valores de C_p que es un factor de estabilidad lateral de la barra del miembro comprimido y los valores de K_c que es un factor que tiene en cuenta la influencia de la esbeltez sobre la capacidad portante, para cada nivel de esbeltez (λ), en el rango de 30 a 100, con saltos de 10 en 10.

Como tensión básica de diseño de referencia se utilizará la tensión de rotura publicada por Guillaumet *et al.* 2017 en lugar de la tensión admisible propuesta por el INTI-CIRSOC 601 (2016a), siendo su valor de $F_c^* = 26,6 \text{ N/mm}^2$.

Considerando que los lineamientos de diseño de ambas normativas, que presentan formatos distintos y con el fin de obtener valores de cálculos comparables se adoptan los mismos valores para F_c^* y F_{cE} para ambos métodos.

En la Tabla I, se presenta los valores de los factores calculados para ambas normativas antes ya mencionadas y puede observarse la similitud existente entre los valores de C_p y K_c para cada nivel de λ . En consecuencia, y como estos factores introducen la influencia de la esbeltez sobre la tensión crítica (F_c) al ser multiplicados por la tensión de referencia (F_c^*), puede apreciarse también una diferencia despreciable entre los resultados obtenidos para $F_c;C601$ y $F_c;EC5$.

TABLA I: Tensiones críticas según normativa
INTI-CIRSOC y EUROCODIGO 5

		λ							
		30	40	50	60	70	80	90	100
Cp		0,971	0,939	0,879	0,780	0,653	0,533	0,436	0,360
Kc		0,976	0,945	0,890	0,789	0,653	0,528	0,428	0,353
Fc*	N/mm ²	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6	26,6
Fc; C601	N/mm ²	25,8	25,0	23,4	20,7	17,4	14,2	11,6	9,6
Fc; EC5	N/mm ²	26,0	25,1	23,7	21,0	17,4	14,0	11,4	9,4
Fc;c601 / Fc;EC5		0,995	0,993	0,988	0,988	0,999	1,010	1,017	1,020

λ : Esbelteces; Cp: Factor de estabilidad lateral del miembro comprimido; Kc: Factor de influencia de esbeltez sobre la capacidad portante; Fc;C601: Tensión crítica según CIRSOC 601; Fc; EC5: Tensión crítica según EUROCODIGO 5

La FIGURA 3, muestra la relación entre los resultados calculados según el procedimiento de diseño para ambas normativas ya citadas, en donde se exhiben en forma conjunta las tensiones críticas Fc;C601 y Fc;EC5 en función de las esbelteces λ .

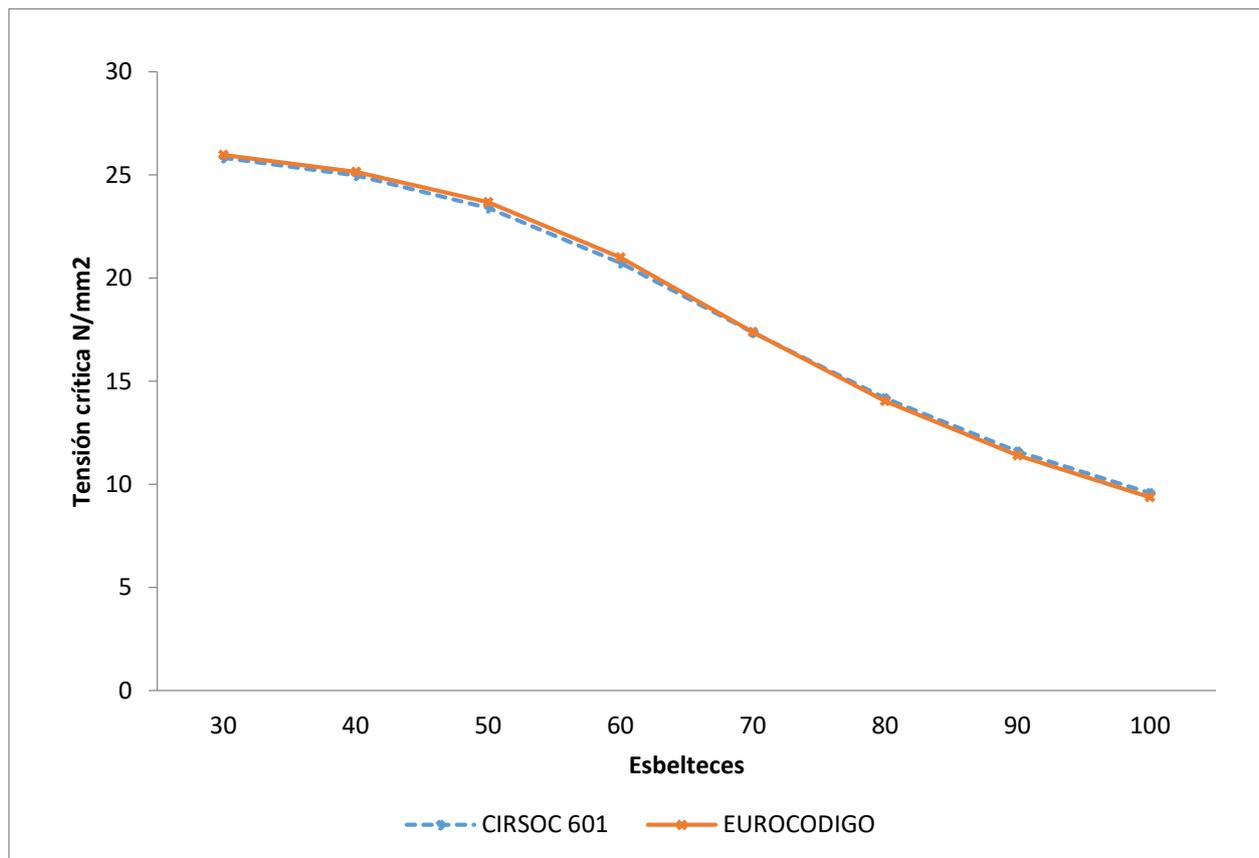


FIGURA 3: Tensiones críticas del INTI-CIRSOC 601 (2016a) y EUROCODIGO 5 (2005)

Conclusiones

El EUROCÓDIGO 5 (2005) muestra valores de tensiones críticas de pandeo respecto a las determinadas según INTI-CIRSOC (2016a) del orden del 1% mayores para el rango de esbelteces entre $\lambda=30$ y $\lambda=70$ y del orden del 2% menores para esbelteces entre $\lambda>70$ y $\lambda=100$.

Los resultados obtenidos por ambos métodos de cálculo dan valores similares y expresan un comportamiento análogo para barras esbeltas comprimidas de madera laminada encolada de *Populus deltoides*. Este análisis se explicita en el trabajo presentado en las Jornadas Investigadores Tecnológicos JIT 2019 Rosario.

Los resultados de la investigación del plan de tesis doctoral impactarán directamente en la confiabilidad que requiere el uso estructural de este material y complementarán de manera significativa el conocimiento existente para el diseño de estructuras de madera laminada encolada

Agradecimientos

Un agradecimiento al Grupo GEMA y al Ing. Eduardo Torran, por su contante colaboración y asesoramiento técnico; y al Grupo GIDEC por el apoyo y acompañamiento diario en especial Ing. Alfredo Guillaumet, Inga. María Cecilia Filippetti e Ing. Roberto Manavella.

Referencias

EN 408+A1 (2012) Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades Físicas y mecánicas. Normalización Española UNE

Eurocódigo 5. EN 1995-1-1 (2005), Proyecto de estructura de madera, Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación. CEN, Brussels.

Guillaumet, AA; Filippetti, MC; Manavella, RD; Acuña Rello, L; Piter, JC (2017) Propiedades resistentes en compresión paralela de la Madera *Populus deltoides* cultivado en el delta del río Paraná. CLEM + CIMAD. Junín. Buenos Aires. Argentina

INTI CIRSOC (2016a). Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Disposiciones generales y requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera en edificaciones. Buenos Aires, Argentina, disponible en <https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/601/CIRSOC601-completo.pdf>.

IRAM 9660-1 (2006) Madera laminada encolada estructural, Parte 1: Clases de resistencia y requisitos de fabricación y control. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.

IRAM 9660-2 (2006) Madera laminada encolada estructural, Parte 2: Métodos de ensayo. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.

IRAM 9661 (2006) Madera laminada encolada estructural. Requisitos de los empalmes por unión dentada. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.

IRAM 9662-4 (2015) Madera laminada encolada estructural, Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 4: Tablas de álamo 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' (*Populus deltoides*). Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.