



RELACIÓN ENTRE MÓDULOS DE ELASTICIDAD DINÁMICO Y ESTÁTICO, Y ENTRE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN PARA PIEZAS DE MADERA DE PINOS DE TAMAÑO ESTRUCTURAL

¹Matías Cagno (mcagno@latu.org.uy), ¹Andrea Cardoso (acardoso@latu.org.uy), ¹Hugo O'Neill (honeill@latu.org.uy), ²Laura Moya (moya@ort.edu.uy)

¹Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU)

Gerencia I+D+I, Proyectos Forestales

²Universidad ORT Uruguay

Facultad de Arquitectura

RESUMEN: El objetivo de este trabajo fue estudiar las relaciones entre las propiedades de flexión de piezas de madera de pinos (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*) provenientes de plantaciones de rápido crecimiento de Uruguay. Se ensayaron 110 vigas a flexión en 4 puntos determinándose los módulos de elasticidad referidos a la cara (MOE_{cara}) y referidos al canto (MOE_{canto}). Adicionalmente, se obtuvo el módulo de rotura (MOR) y se estimó el módulo de elasticidad dinámico (E_d) a través de un ensayo no destructivo (Fakopp). Se estudió por un lado la variable MOE_{cara} y por otro la variable E_d en relación al MOE_{canto} , y las mismas variables independientes en relación al MOR con el fin de establecer modelos estadísticos que permitan predecir valores de resistencia a la flexión. Además se agregaron variables de clasificación visual y densidad corriente que influyen en los valores de resistencia. Los modelos de predicción tanto de la resistencia como de la elasticidad a la flexión mejoran con la inclusión de variables de clasificación visual y densidad aparente corriente. Además, se observó que el módulo de elasticidad evaluado sobre su cara es un buen estimador del módulo de elasticidad evaluado sobre su canto

Palabras clave: resistencia de flexión, módulos de elasticidad estáticos, módulo elástico dinámico, pinos de Uruguay

RELATIONSHIP BETWEEN STATIC AND DYNAMIC YOUNG'S MODULUS, AND BETWEEN BENDING STRENGTH FOR STRUCTURAL SIZE PINE LUMBER

ABSTRACT: The aim of this work was to study the relationships between bending properties of pine timber (*Pinus taeda* and *Pinus elliottii*) coming from fast growing plantations in Uruguay. Flatwise Young's modulus (MOE_{cara}) and edgewise Young's modulus (MOE_{canto}) were determined through 4 points bending test in 110 beams. Additionally, it was determined the modulus of rupture (MOR) and was estimated the dynamic Young's modulus (E_d) through a non-destructive test (Fakopp). It was studied on one hand the variable MOE_{cara} , and, on the other, the variable E_d in relation to MOE_{canto} , and the same independent variables in relation to the MOR in order to set up regression models which allow the prediction of bending strength values. Furthermore, variables of visual grading and specific gravity that have influence in strength values were added. Regression models for both the bending strength and modulus of elasticity are improved with the addition of visual grading and specific gravity variables. In addition, it was noted that the flatwise Young's modulus is a good estimator of edgewise Young's modulus.

Keywords: bending strength, static Young's Modulus, dynamic Young's Modulus, pines in Uruguay

1. INTRODUCCIÓN

Contar con madera caracterizada estructuralmente y clasificada en grados resistentes en el mercado, es muy relevante ya que permite al calculista de estructuras trabajar de forma racional y segura en sus proyectos. Generalmente esta caracterización y la consiguiente clasificación involucra la realización de ensayos destructivos sobre una gran cantidad de piezas de madera, tarea que es económicamente costosa y que insume mucho tiempo. Por ello, frecuentemente se recurre además, a modelos que permiten estimar las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

Los modelos para predecir el comportamiento mecánico de la madera son complejos debido fundamentalmente a la cantidad de variables que caracterizan el material. Especie, anisotropía, edad, densidad, tipo y ubicación de nudos en la pieza son parte de estas variables, a las que se suman otras propias del proceso de transformación mecánica como el aserrado y secado. Construir modelos que sean capaces de explicar el comportamiento mecánico y visco-elástico de la madera es un gran desafío.

Steffen et al. (1997) estudiaron la relación entre las rigideces de cara y canto (MOE_{cara} y MOE_{canto}) de tablas aserradas de abeto rojo (*Picea abies*) con el fin de mejorar el proceso de clasificación mecánica. Observaron que las diferencias entre módulos elásticos se debieron principalmente a la presencia y ubicación de nudosidades en cantos o caras de la pieza. Además subdividieron las piezas de estudio a lo largo de la sección transversal en pequeñas probetas y observaron que existe una variación del módulo de la elasticidad junto con una variación de la densidad a través de dicha sección.

Conde García et al. (2007) elaboraron modelos de predicción de resistencia y rigidez para piezas de madera de pino silvestre (*Pinus silvestris* L.) y pino laricio (*Pinus nigra* Am.) a partir de la combinación de módulos elásticos estimados con técnicas de ultrasonidos y de parámetros de clasificación visual. Observaron que en los modelos propuestos la velocidad de transmisión longitudinal de onda se ajusta mejor que el módulo de elasticidad dinámico. Concluyeron además que la variable velocidad de transmisión no permite por sí sola predecir la resistencia de flexión o la rigidez de una pieza de madera, y sugirieron incluir variables de densidad, longitud de la pieza y e información sobre nudosidades en los modelos estadísticos.

El presente trabajo propone y evalúa diferentes modelos estadísticos que incluyen variables físicas y mecánicas para predecir las propiedades de flexión de vigas de madera de pinos (*Pinus elliottii* y *P. taeda*) cultivados en Uruguay. Los modelos consideraron inicialmente el MOE_{cara} como la variable regresora más importante (ya que las máquinas de clasificación mecánica evalúan las piezas de madera apoyadas sobre su canto), y luego fueron incluidos el módulo dinámico, densidad y parámetros de clasificación visual.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Muestras de ensayo

Para la realización de este trabajo se utilizaron vigas del proyecto “Caracterización estructural de madera aserrada de pinos asociada a grados estructurales”(PR_FMV_2009_1_2772).

Las vigas fueron obtenidas a partir de madera de pino (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*) proveniente de dos plantaciones ubicadas en las zonas sur y litoral de Uruguay. Se llegó a un valor cercano a 1000 vigas de dimensiones 50 x 50 x 2800 mm, secas y cepilladas; de las cuales 110 fueron elegidas al azar.

2.2 Evaluación visual de los nudos

Las vigas seleccionadas fueron inicialmente evaluadas en forma visual, y especialmente sus nudosidades de acuerdo a NCh 1207 (2005). Para cada una de ellas se determinó la