

DETERMINACION DE LAS CONSTANTES ELASTICAS DEL *Pinus radiata* D. Don POR ULTRASONIDO. PARTE I.

Erik Baradit e Cecilia Fuentealba

RESUMEN: Este trabajo consiste en aplicar a la madera la teoría de cristales y propagación de ondas mecánicas, con el fin de obtener las constantes elásticas por medio de una técnica no destructiva de la madera de *Pinus radiata* D. Don creciente en Chile. La madera al ser considerada como un cuerpo de simetría ortotrópica satisface la ley de Hooke en su forma tensorial. Por lo tanto, desde el punto de vista dinámico las constantes elásticas se expresan por medio de la ecuación de Christoffel y pueden ser determinadas utilizando la propagación de ondas de ultrasonido de diferente polarización. De esta forma es posible determinar los tres módulos de elasticidad de Young, tres módulos de rigidez y las seis razones de Poisson por medio de esta técnica no destructiva. En este trabajo en una primera parte se muestran los módulos de elasticidad y módulos de rigidez obtenidos por ultrasonido.

Palabras claves: *Ultrasonido, Pinus radiata D. Don, módulo de elasticidad, módulo de rigidez.*

ELASTIC CONSTANTS OF *Pinus radiata* D. Don BY MEANS ULTRASOUND. PART I.

ABSTRACT: This work consists in applying the crystals theory and mechanical waves propagation to the wood to obtain the elastics constant by non destructive technique of *Pinus radiata* D. Don growing in Chile. The wood when considered as a body of orthotropic symmetry satisfies Hooke's law in it's tensor form. Therefore, from the dynamical point of view the elastic constant are expressed by means of Christoffel's equation and can be determined using the ultrasound wave propagation of different polarization. From this and through this non destructive technique, it is possible to determine the three elasticity moduli, three shear moduli and six ratios Poisson's. In the first part of this work the elasticity moduli and shear moduli was obtained by ultrasound technique.

Keywords: *Ultrasound, Pinus radiata D. Don, elasticity moduli, shear moduli..*

INTRODUCCION

Las características de la madera como cuerpo ortotrópico vinculado a las tres direcciones principales ortonormales: longitudinal, radial y tangencial permiten describir sus propiedades elásticas por medio de la teoría del sólido Smith (1993). De acuerdo a ésta teoría la ley de Hooke se expresa en su forma tensorial más general y relaciona los tensores deformación S_{kl} con el tensor de tensión T_{ij} de la siguiente forma Dieulesaint (1974):

$$T_{ij} = C_{ijkl} S_{kl} \quad (1)$$

Donde los coeficientes C_{ijkl} conforman el tensor de orden 4 llamado tensor de módulos de elasticidad. Se demuestra que como el orden en el par ij no cambia el valor de los coeficientes C_{ijkl} se puede hacer la siguiente designación:

$$\begin{aligned} ij &= \alpha, & \alpha &: 1, 2, \dots, 6 \\ kl &= \beta, & \beta &: 1, 2, \dots, 6 \end{aligned} \quad (2)$$

Según esto la matriz de los módulos de elasticidad de un cuerpo de simetría rómbica ($\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, $a \neq b \neq c$) contiene 9 constantes elásticas

$$C_{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Por razones de simetría y condiciones termodinámicas $C_{\alpha\beta} = C_{\beta\alpha}$. De esta manera la madera puede ser caracterizada por medio de solo 9 constantes elásticas que forman parte de la matriz $C_{\alpha\beta}$.

FUNDAMENTACION TEORICA

Una manera de determinar las constantes $C_{ijkl} = C_{\alpha\beta}$ de la matriz (3) se lleva a cabo por medio de la propagación de ondas a través de la madera. En este caso, de acuerdo a la teoría dinámica elástica, se satisface la ecuación de Christoffel:

$$|\Gamma_{il} - \rho v^2 \delta_{il}| u_l = 0$$

Donde n_j , n_k - cosenos directores, u_l - polarización de la onda (desplazamiento de las partículas), ρ densidad de la madera, y:

$$\Gamma_{li} = C_{ljk} n_j n_k = C_{kilj} n_j n_k = C_{ikjl} n_j n_k = C_{ijkl} n_j n_k = \Gamma_{il} \quad (5)$$