

DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS ELASTICAS DE LA MADERA DE CASTAÑO (*Castanea sativa* Mill.) MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

F. PEDRAS SAAVEDRA. * G. RIESCO MUÑOZ.* & A. REMACHA GETE.**

* ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LUGO. E .P.S. CAMPUS DE LUGO. LUGO. UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA. ESPAÑA

** ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA FORESTAL. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. CIUDAD UNIVERSITARIA. MADRID ESPAÑA.

RESUMEN

Se han estudiado los parámetros humedad, peso específico y módulo elástico longitudinal sobre probetas normalizadas de castaño, mediante el ensayo en dirección longitudinal con ultrasonidos. Los valores de velocidad de propagación longitudinal de las ondas ultrasónicas se han contrastado con los valores de módulo elástico longitudinal estático obtenidos sobre las mismas probetas con ensayos de flexión a rotura, obteniéndose elevadas correlaciones estadísticas entre módulo elástico y velocidad de propagación. Esto permite introducir el método de ultrasonidos en la clasificación no destructiva de madera aserrada de frondosas, con resultados más precisos que los obtenidos con el sistema de clasificación visual, sobre todo en las clases superiores.

P.C.: Propiedades mecánicas, madera, castaño, ultrasonidos.

SUMMARY

Moisture, specific gravity and longitudinal elastic modul were obtained from standard wood samples of chestnut tree scanned longitudinally with ultrasonic waves . The ultrasound spread speed has been contrasted with the static longitudinal elastic modul obtained from the same samples with bending test . It exists a strong statistical correlation between elastic modul and spread speed. So, it is possible to use the ultrasonic beams in grading of building timber of broadleaves trees, more accurate that visual grading methods of assessing quality, mainly for upper grades.

K.W.: Mechanical properties, wood, chestnut tree, ultrasounds.

INTRODUCCION

La velocidad de propagación de una onda elástica a lo largo de una barra es medible y está directamente relacionada con las propiedades físicas del material que constituye la barra.

A partir de la ecuación de propagación de una onda elástica en una barra y supuesta la elasticidad lineal de la misma se llega a la expresión de la velocidad de propagación (ORS MARTINEZ, 1986).

$$V = \sqrt{\frac{Ed}{\delta}}$$

donde :

V = Velocidad de propagación de la onda (m/s).

Ed = Módulo Elástico Dinámico del material (N/m²).

δ = Densidad del material (Kg/m³).

Conocidas estas relaciones se puede estimar el módulo elástico (E.) para un material de densidad conocida δ mediante la medición de la velocidad de propagación de un impulso elástico (sonico o ultrasónico) en el material.

OBJETIVOS

En el presente estudio se correlaciona la velocidad de propagación (V_L) de las ondas ultrasónicas longitudinales en la dirección longitudinal de probetas de madera de castaño, (Fig. N° 1) con el modulo de elasticidad estático (E), determinado mediante el ensayo de flexión U.N.E. 56-537-79 (Fig. N° 2).

La existencia de alta correlación entre (V_L) y (E) permite la estimación de (E) como función de (V_L), $E = E (V_L)$. Asimismo se pretende estudiar las relaciones que presentan (V_L) y (E) con las características físicas más importantes de la madera como son: peso específico aparente y humedad.

La estimación de (E) sin realizar su medida directa, supone un avance en aquellas aplicaciones en las que se hace necesario conocer las características elásticas de una pieza de castaño sin deteriorarla, como por ejemplo en la clasificación de la madera para usos resistentes por métodos no destructivos.

MATERIAL Y METODOS

La madera que se utiliza como material de ensayo procede de castaño (*Castanea sativa* Mill) obtenida en aserraderos de la provincia de Lugo, y de la cual se conocían sus características físico - mecánicas por estudios previos (MENDEZ LODOS, 1996).

Para la realización del ensayo destructivo U.N.E. 56-537-79, con el que obtener el módulo

(E) se utilizó una máquina universal de ensayos. Para la realización del ensayo no destructivo, con el que obtener (V_L) se utilizo un equipo emisor y receptor de Ultrasonidos. En la determinación de las restantes características de la madera como peso específico y humedad, se sigue el procedimiento establecido en las Normas UNE . Partiendo de madera de castaño, se procedió a mecanizar 27 probetas, con las medidas que determina la norma U.N.E. 56-537-79 para ensayos a flexión (20x20x300 mm).

El ensayo no destructivo por ultrasonidos, se realizo con la medición de los tiempos de propagación de las ondas longitudinales en la dirección longitudinal de la fibra (Fig. N° 1 y Fig. N° 4), durante un periodo de 5 a 10 segundos. Seguidamente se procedió a ensayar las probetas a flexión hasta la rotura (norma UNE 56-537-79) determinando el módulo de elasticidad estático.

Para la determinación de las características de la madera se utilizaron palpadores enfrentados longitudinalmente (método de transmisión directo, Fig. N° 4) aplicados sobre las testas de las probetas . Las frecuencias utilizadas, comprendidas entre 40 y 50 kHz, son

suficiente para obtener un claro flanco de impulso y realizar una medición exacta del tiempo de recorrido de la onda ultrasónica.

La velocidad de propagación es por tanto:

$$V_L = \frac{e}{t}$$

donde :

e = Distancia entre palpadores en mm

t = Tiempo que tarda en percibir el palpador receptor la onda emitido por el palpador emisor, en μ s.

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados medios, con un numero de 27 probetas para cada una de las variables en estudio, se encuentran reflejados todos en la Tabla N° 1, donde indica :

El % de humedad de la probetas está en el orden de 15 %, con un coeficiente de variación bajo. El peso específico aparente de las probetas informa de una madera semipesada.

La velocidad de propagación de las ondas longitudinales ultrasónicas, con valor medio de 4, 310 (Km/s), es similar a la obtenida por otros autores para madera de frondosas (KOLLMAN *et al.*, 1960).

El módulo de elasticidad estático (E) obtenido por el método destructivo, con valores medios de 3.229 (N/mm²), análogo a los valores obtenidos en otros estudios realizados sobre madera de castaño (MENDEZ LODOS ,1994). El módulo de elasticidad dinámico (Ed), es decir sin corregir por el coeficiente de Poisson, da un valor medio de 10.580 (N/mm²), similar al obtenido por otros autores para madera de frondosas (KOLLMAN *et al.*, 1960), con un coeficiente de variación similar al obtenido por el método destructivo.

Con referencia a estos valores hay que hacer observar que el material ensayado es madera de fibra recta y libre de defectos por lo que los coeficientes de variación obtenidos son necesariamente inferiores a los que se obtendrían sobre madera no escogida en tanto que los valores medios del módulo elástico son superiores en este caso.

El Gráfico N ° 1 nos muestra la relación existente entre el módulo de elasticidad estático (E) y el módulo de elasticidad dinámico (Ed), que es aproximadamente de 1:3, con un factor de correlación elevado. La diferencia entre los valores observados de (Ed) y (E) puede atribuirse al desconocimiento del coeficiente de Poisson, aunque éste por si solo no explica una diferencia tan importante entre (Ed) y (E). Por otra parte es necesario tener en cuenta el esfuerzo cortante que se produce en la probeta ensayada por el método destructivo, descrito en la norma UNE, esfuerzo cortante que si puede variar significativamente los valores obtenidos de módulo de elasticidad estático respecto del dinámico. En efecto, en probeta estructural ensayada por norma EN 408, (Fig. N° 3), donde no interviene el esfuerzo cortante, los valores de (E) obtenidos son muy similares a los valores obtenidos por ultrasonidos, donde el valor medio prácticamente coincide con el obtenido mediante ensayos según norma EN 408 (MENDEZ LODOS ,1996).

No se observa, en este caso, ninguna correlación significativa entre los dos módulos de elasticidad (E.d. y E) y la humedad de las probetas ensayadas, ni entre la velocidad de propagación y la humedad de las probetas. La débil correlación encontrada no permite, por ahora, el empleo de ultrasonidos como método higrométrico.

La relación entre módulos de elasticidad y velocidad de propagación es la relación más importante, dado que nos da idea de la alta relación que existe entre los módulos de elasticidad y la velocidad de propagación de los ultrasonidos en dirección longitudinal. En el

Gráfico N ° 1 se han presentado, en función de la velocidad de propagación longitudinal (V_L), los módulos de elasticidad estático (E) y dinámico (E_d). Como se hizo observar (E_d) es del orden del triple que (E) y ambos aumentan con la velocidad de propagación (V_L).

Dado que :

$$E_d (V_L) = V_L^2 \times \delta$$

y no se observa dicha relación funcional entre (V_L) y (E_d), la dispersión de puntos en la gráfica ha de venir introducida por el peso específico aparente, débilmente correlacionado con el módulo elástico dinámico.

CONCLUSIONES

La utilización de los ultrasonidos como método no destructivo para la caracterización de las propiedades físico - mecánicas de la madera, destaca por su rapidez, economía y comodidad de utilización. El empleo de expresiones que relacionan (V_L) y (E) permite realizar análisis de las propiedades más interesantes desde el punto de vista de la asignación de calidades con un grado de confianza, similar a los métodos destructivos de laboratorio siendo además perfectamente adecuado para clasificar piezas que se va a utilizar en obra o en fabrica. Se tiene así la posibilidad de conocer las características resistentes de piezas individuales sin destruirlas, independientemente de los valores medios que presente el material, siempre caracterizado, en el caso de la madera, por un elevado coeficiente de variación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

KOLLMANN, F. (1959) . *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. (Vol I). I.F.I.E. Madrid.

KOLLMANN, F.; KRECH H. ; (1960). *Dynamische messung der elastischen holzeigenschaften und der dämpfung*. HOLZ, n° 18, pag 41 - 54.

MENDEZ LODOS , M. (1996) . *Análisis de las propiedades físico-mecánicas de madera de castaño aserrada en la provincia de Lugo*. Tesis doctoral (inéd). Universidad de Vigo.

ORS MARTINEZ, J. (1986) . *Aplicación de ultrasonidos en ensayos de materiales metálicos* . CSIC. Madrid.

SANDOZ , J.L. (1987) . *Evaluation des caracteristiques physiques et mecaniques de bois avec des methodes non destructives*. Actes du 2° colloque des ciencias et industries du bois. (Vol I). Nancy.

STEINKAMP, G. *Manual para la utilización del equipo de ultrasonidos*. Tipo BP V. S.A.E IBERTEST . Madrid .

TABLA Y GRAFICO

TABLA N° 1 RESULTADOS MEDIOS DE LOS ENSAYOS

	PESO APA.	HUMEDAD	VELOCIDAD	E.DINAMICO	E.ESTATICO
N° PROBETAS	27	27	27	27	2
UNIDADES	Kg/m ³	%	Km/s	N/mm ²	N/mm ²
MEDIA	562,93	15,07	4,32	10.586,71	3.229,61
MAXIMO	624,12	15,95	5,03	15.301,97	4.349,83
MINIMO	480,34	13,80	3,66	7.643,19	2.209,32
DESVIACION	33,24	0,54	0,43	2.119,99	596,82
C.V.	5,90	3,56	9,95	20,02	18,48

MODULOS DE ELASTICIDAD - VELOCIDAD

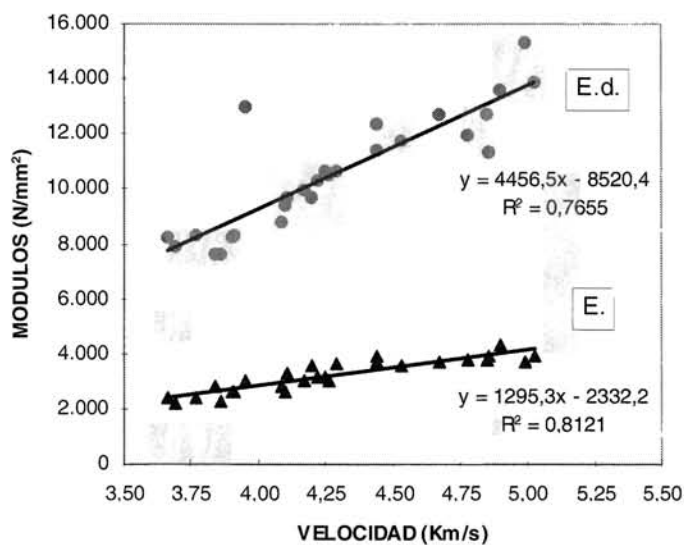


GRAFICO N° 1

	R =	0.90	ECUACION		
	R ² =	0.81			
	R ² AJUSTADO =	0.80			
	ERROR STANDARD =	264.32			
	F =	108.07	CONSTANTE	- 2332.15	- 3437.33
	T =	10.39	VARIABLE	1295.33	1038.71
	TEST DURBIN - WATSON =	2.36			1551.94

REGRESION de Módulo Estático (E.) con Velocidad de Propagación (V_L) .
Realizado con SPSS.versión 6.0

FIGURAS

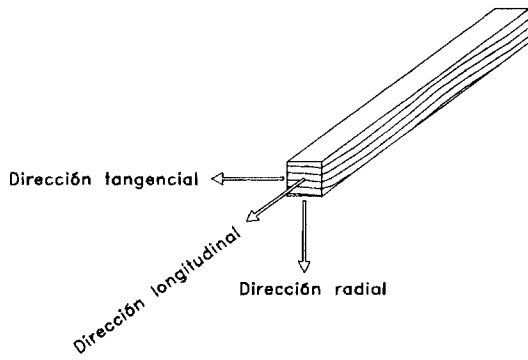
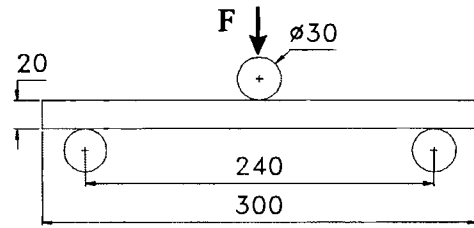


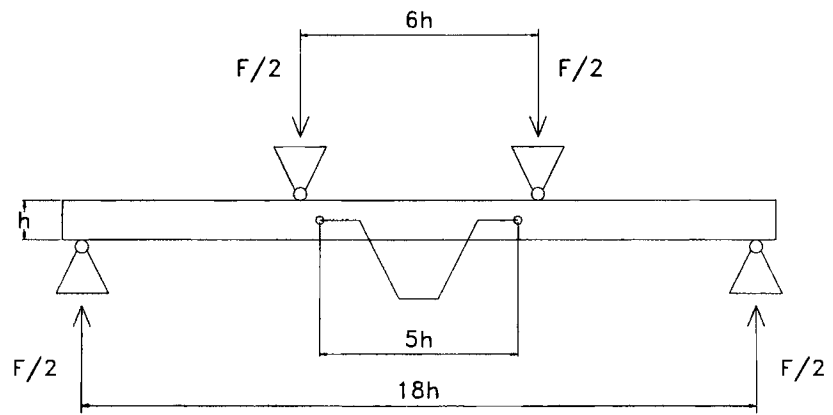
FIGURA N° 1
Direcciones principales de la madera



Norma U.N.E.

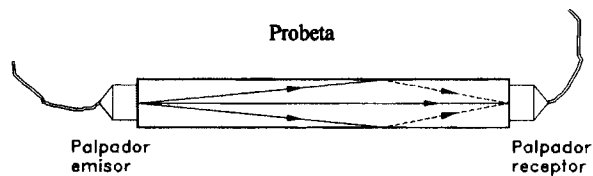
FIGURA N° 2
Dispositivo de ensayo de flexión UNE. 56-537- 79

FIGURA N° 3
Dispositivo de ensayo de flexion E.N.408.



Norma E.N.

FIGURA N° 4



Método de ultrasonidos de transmisión directa