

DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MADERA POR METODOS VIBRATICOS

Por: Humberto ALVAREZ Noves
Ingeniero de Montes

Los materiales de origen biológico, como es el caso de la madera, se caracterizan por su gran variabilidad en prácticamente todas sus propiedades físicas y mecánicas; debido a esto, cuando la madera se utiliza como elemento estructural, se deben aplicar a sus valores medios de resistencia, importantes factores de reducción, para de este modo garantizar la seguridad de la construcción en el caso de que la pieza más débil pudiera estar por azar localizada en un punto crítico.

Esta prevención contra la dispersión de valores, mientras era completamente necesaria en el pasado, no es un concepto que se deba tener en cuenta cuando se aborda el uso futuro de la madera. Expresado de otro modo, este concepto requería que teóricamente el 95% de todas las piezas actuaran con exceso de capacidad. Desde el punto de vista de la ingeniería, tales estructuras deberían ser consideradas como sobredimensionadas y por consiguiente como un derroche de materia prima, con todos los gastos que esto lleva aparejados.

Para evitar estos inconvenientes, es decir, para hacer un uso más eficiente de la madera, es necesario tener un conocimiento exacto de las propiedades de cada pieza de madera, lo cual, a su vez, requiere la utilización de métodos seguros para predecir la resistencia mecánica de la madera.

Este es uno de los fines de los ensayos no destructivos de la madera.

En la actualidad se comercializan máquinas clasificadoras de madera que operan sobre el principio de flexión bajo carga para medir el módulo de elasticidad. Estas máquinas alcanzan altas velocidades de producción con una exactitud en la medición del módulo de elasticidad bastante aceptable, lo cual supone una importante mejora

en cuanto a clasificación de madera si se la compara a la clasificación por inspección visual. Los inconvenientes que presentan estas máquinas son sus grandes dimensiones y elevado precio.

Ultimamente se han desarrollado varios métodos de ensayos no destructivos de la madera, basados en las propiedades vibráticas de ésta que permiten, principalmente, determinar el módulo de elasticidad de piezas de madera de medidas comerciales con una gran exactitud y rapidez, utilizando para tal fin aparatos pequeños y fáciles de transportar.

Entre los métodos desarrollados destacan dos que se diferencian por la clase de onda propagada en el material: ondas longitudinales y ondas transversales.

Ondas longitudinales: cuando las vibraciones de las partículas se realizan en la misma dirección que la propagación del movimiento vibratorio.

Ondas transversales: cuando las vibraciones de las partículas se realizan perpendicularmente a la dirección de la propagación del movimiento vibratorio.

METODO DE VIBRACION LONGITUDINAL

Dentro del método de ondas longitudinales o de compresión, se distinguen dos tipos según sea la frecuencia del movimiento vibratorio inducido en la madera: movimiento sónico o inducido por impacto y movimiento ultrasónico.

El movimiento vibratorio sónico o sonido es aquel que puede ser percibido por el oído humano; su frecuencia se sitúa entre 16 y 20.000 Hz (ciclos por segundo).

El movimiento vibratorio ultrasónico o ultrasonido es aquel cuya frecuencia es superior a 20.000 Hz y el oído humano es incapaz de percibirlo.

La determinación del módulo de elasticidad de la madera por el método de ondas longitudinales o de compresión se basa en el siguiente principio físico: en piezas prismáticas o cilíndricas de un cuerpo sólido, en las que la dimensión de la sección puede ser despreciada comparada con la longitud de onda, la velocidad de propagación de las ondas longitudinales a lo largo de la pieza es:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Donde:

v = velocidad de propagación en metros/segundo

E = módulo de elasticidad dinámico (módulo de Young) expresado en Newton/m²

ρ = densidad de la madera en Kg/m³.

La velocidad de propagación es independiente de la frecuencia utilizada, por consiguiente, la fórmula anterior se puede utilizar tanto con ondas sónicas como ultrasónicas.

TIPO ULTRASONICO

Las técnicas de medida de la velocidad de onda ultrasónica son similares al diagrama de la figura 1.

En realidad, lo que se mide es el tiempo de paso, sobre una distancia predeterminada de madera, de la onda ultrasónica inducida en ésta, calculándose la velocidad media de la onda.

ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad lo obtendremos como hemos visto por la fórmula: $E_d = V^2 \cdot \rho$. Los resultados alcanzados con este procedimiento son prácticamente coincidentes con el módulo de elasticidad estático.

TIPO SONICO O INDUCIDO POR IMPACTO

Los aparatos para calcular la velocidad de propagación de las ondas inducidas por impacto, son similares a los del diagrama de la figura 2.

Difieren de los aparatos ultrasónicos:

1°. En la naturaleza de la onda que se propaga en la muestra, que en este caso es sónica.

2°. En la forma de generar el movimiento vibratorio, el cual se induce golpeando la muestra sobre una superficie libre, tal como la testa.

También en estos aparatos, lo que se mide es el tiempo de paso medido en microsegundos y junto con la longitud de la pieza se calcula la velocidad media.

EJEMPLO DE CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD POR ONDAS LONGITUDINALES

Tabla de madera de pino de densidad 530 Kg/m³.

Utilizando un aparato ultrasónico o de impacto, calculamos que la velocidad de propagación paralela a la fibra es $V = 4.760$ m/seg.

El módulo de elasticidad dinámico será:

$$E_d = \rho \cdot V^2$$

expresado en Newton/m² y dividiéndolo por 10⁵ se transformará en K_p/cm^2 .

$$E_d = \frac{530 \cdot 4760^2}{10^5} = 120.000 K_p/cm^2$$

En el mercado existen aparatos que dan directamente el valor de E_d , calculando ellos mismos la velocidad de propagación y la densidad de la pieza.

METODO DE VIBRACION TRANSVERSAL

Las vibraciones transversales son también empleadas para evaluar no destructivamente las propiedades de resistencia de la madera. En lo referente al cálculo del módulo de elasticidad existen dos procedi-

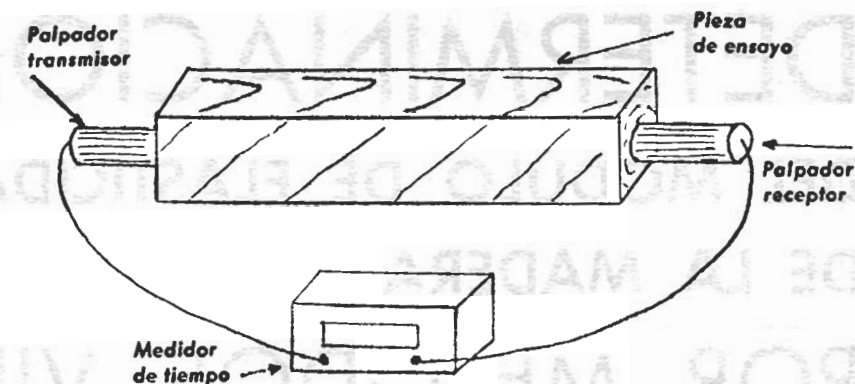


Fig. 1.— Diagrama de la medida de la velocidad media de ondas ultrasónicas.

mientos, según se utilice la frecuencia de resonancia o bien la frecuencia propia o natural en una vibración libre. Ambos procedimientos emplean la misma fórmula para el cálculo de E_d .

Tipo resonancia: la pieza de madera es sometida a vibración forzada transversal y medida su frecuencia de resonancia, que junto con el peso, longitud y momento de inercia de la pieza de madera nos permite calcular el módulo de elasticidad dinámico de la pieza con la siguiente fórmula:

$$E_d = \frac{f_n^2 \cdot P \cdot L^3}{c^2 \cdot I \cdot g} \quad (1)$$

Donde:

E_d = módulo de elasticidad en K_p/cm^2

f_n = frecuencia de resonancia en ciclos por segundo.

P = peso de la probeta en K

L = longitud de la probeta en cm.

c = constante que depende de los apoyos ($c = 1,57$ para vigas simplemente apoyadas en los extremos)

I = momento de inercia en cm⁴

g = aceleración de la gravedad (980 cm/seg²)

Este procedimiento exige un equipo muy complejo y únicamente es aplicable a probetas de pequeñas dimensiones, por lo cual no se utiliza para evaluar el E_d de tablas, tablones y vigas.

Tipo vibración libre: en este procedimiento, la pieza de madera que va a ser evaluada se coloca simplemente apoyada en los dos extremos y es excitada por un simple impacto, golpeándola con la mano en la

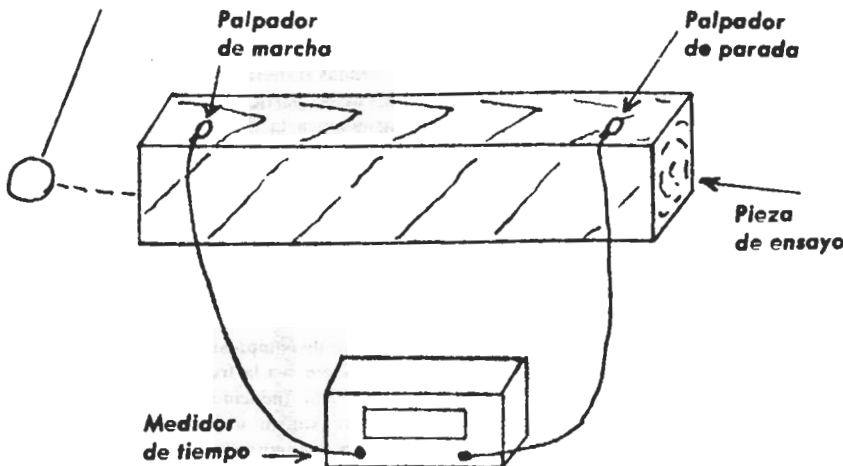


Fig. 2.— Diagrama de la medida de la velocidad media de las ondas inducidas por impacto.

zona central a vibración libre transversal. Midiendo su frecuencia propia, así como su peso, longitud y momento de inercia y empleando la misma fórmula que hemos visto para el caso de la frecuencia de resonancia, obtendremos el módulo de elasticidad.

EJEMPLO DE CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD POR VIBRACION LIBRE TRANSVERSAL

Tablón de abeto de dimensiones:
5 x 15 x 300 cm. Densidad: 459 K_p/m^3 .

Midiendo su frecuencia propia, resulta ser 12 ciclos por segundo. Aplicando la fórmula (1), obtenemos el módulo de elasticidad dinámico:

$$E_d = \frac{12^2 \cdot 10^3 27 \cdot 300^3}{1,57^2 \cdot 156^2 25 \cdot 980} = 106.000 K_p/cm^2$$

En los aparatos que existen en el mercado, el E_d viene dado directamente, pues la máquina realiza todos los cálculos.