



Identificación del Trabajo	
Área:	Estructuras y construcciones civiles
Categoría:	Alumno
Regional:	Venado Tuerto

Comparación entre el módulo de elasticidad obtenido por ensayos no destructivos con el determinado por ensayo a flexión de elementos estructurales de Populus Deltoides Stoneville 67 - Vigas de 2"x4" Y tablas 4"x1"

Valeria ANDREINI

GIDEC "Grupo de investigación y desarrollo de estructuras civiles", Facultad Regional Venado Tuerto, UTN

E-mail de contacto: gidec@frvt.utn.edu.ar; valeandreini_34@hotmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Alfredo Guillaumet y del Ing. Jacinto Diab, en el marco del proyecto "Caracterización del Populus deltoides australiano 129/60, tensiones de aplastamiento y evaluación de propiedades mediante ultrasonido".

Resumen

El objetivo de este trabajo es comparar el módulo de elasticidad en piezas de madera Populus deltoides (Alamo) Stoneville 67 mediante ensayos no destructivos y compararlos con los obtenidos por ensayo de flexión.

Se ensayaron 52 tablas de sección 4"x1" y 43 vigas de sección 2"x4" a flexión bajo la NORMA UNE-EN 408:2011 determinándose el módulo de elasticidad (MOE) global. Se emplearon dos métodos no destructivos: en uno se efectúa la medición de la frecuencia de vibración utilizando el software FFT Analyzer, y en el otro se calcula el MOE dinámico a través del uso de un equipo de ultrasonidos Fakopp Microsecond Timer.

Comparando los valores obtenidos de MOE por flexión, el MOE calculado por ultrasonido presenta una variación del orden del 13% en tablas y un 18% en vigas, mientras que el MOE calculado por vibraciones, presenta una variación cercana al 23% en tablas, y un 6% en vigas.

Palabras Claves: Modulo de Elasticidad; Ultrasonido; Vibraciones; Ensayo a flexión

1. Introducción y Objetivos

De acuerdo al desarrollo de la construcción con madera que se está dando en el país, se hace necesario contar con valores ciertos de resistencia mecánica para las variedades más usadas, ya que esto permitiría ofrecer a los profesionales de la construcción información precisa para la realización de estructuras más confiables, seguras y económicas.

Resulta de interés contrastar los resultados obtenidos mediante ensayos a flexión con los que se pueden obtener mediante ensayos no destructivos sencillos, preservando la integridad del material ensayado. Para tratar de clasificar y caracterizar

mecánicamente piezas de madera de tamaño estructural mediante técnicas no destructivas trabajamos con la aplicación de los métodos de ultrasonido y vibraciones.

2. Metodología

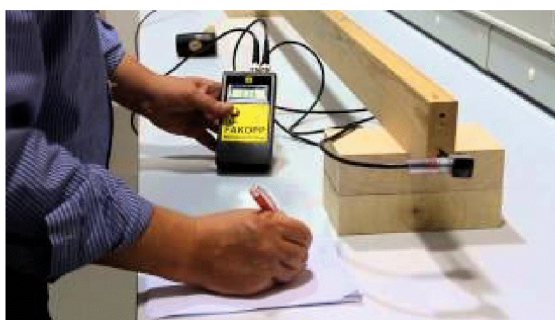
Se trabajó sobre un total de noventa y cinco [95] probetas de las cuales, cuarenta y tres [43] son vigas aserradas de sección transversal 2"x4" de Populus deltoides Stoneville 67 y cincuenta y dos [52] son tablas aserradas de sección transversal 4"x1" del mismo clon, provenientes de bosques implantados en el Delta del Río Paraná, República Argentina.

Las tablas y vigas fueron cepilladas en todas sus caras y almacenadas en cámara de estabilizado en condiciones controladas de 65% humedad y 20° temperatura.

Sobre cada una de las muestras se efectuaron las siguientes acciones, de acuerdo a normativa que se detalla:

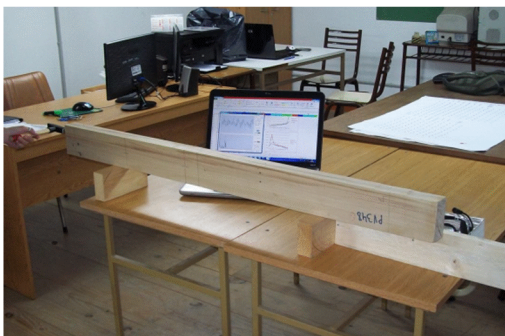
- a) Relevamiento, medición y clasificación de singularidades, según UNE-EN 1310:1997
- b) Determinación de la densidad y de la humedad en cada una de las probetas según UNE-EN 13183-1:2002
- c) Determinación del módulo de elasticidad dinámico usando equipo de ultrasonido modelo Fakopp Microsecond Timer. Se efectuaron para cada viga tres mediciones entre caras con disposición centrada del sensor. El valor del Módulo de Elasticidad dinámico se calcula aplicando las siguientes fórmulas:

FÓRMULAS	PARÁMETROS	UNIDADES
$v = l / t \quad (1)$	v: Velocidad	m/seg
	l: Longitud de la pieza	m
$\text{MOE dinámico} = \rho v^2 \quad (2)$	t: Tiempo	seg
	MOE dinámico	Mpa
	ρ : Densidad de la madera	Kg/m ³



- d) Determinación del módulo de elasticidad Dinámico por medición de la frecuencia de vibración mediante el software FFT Analyzer. Para esto se utilizó una PC con el correspondiente software y un micrófono. Se impacta con un martillo en un extremo de la viga para producir la vibración de la misma, que es captada en el otro extremo mediante un micrófono. Se analiza la principal frecuencia de vibración del sonido, la cual se utiliza para calcular el MOE. La fórmula de cálculo es la siguiente:

FÓRMULAS	PARÁMETROS	UNIDADES
$\text{MOE dinámico} = \frac{(4 \cdot l^2 \cdot f^2 \cdot \rho)}{g} / \text{g} \quad (3)$	MOE dinámico	Mpa
	l: longitud de la pieza	m
	f: frecuencia de vibración	Hertz
	ρ : Densidad de la madera	Kg/m ³
	g : aceleración gravitacional	m/s ²



e) Ensayo de flexión de cada viga y determinación de propiedades mecánicas según UNE-EN 408:2011

3. Resultados y Discusión

La tabla 1 y tabla 2 se presentan los valores obtenidos de MOE, analizadas estadísticamente:

Tabla 1. Resumen de valores de MOE Dinámico obtenidos mediante ensayos destructivos y no destructivos en Tablas de Stoneville 67 de 4"x1"

	E. GLOBAL (Eg)	ULTRASONIDO (Eu)	VIBRACION (Ev)
MAXIMO (Nw/mm ²)	13.892	14.273	11.600
MINIMO (Nw/mm ²)	7.105	8.128	4.728
PROMEDIO (Nw/mm ²)	9.616	10.838	7.473
PERCENTIL 5% (Nw/mm ²)	7.428	8.681	5.646
DESVIO (Nw/mm ²)	1.541	1.502	1.463
COV	0,16	0,14	0,20
CANTIDAD	52,00	52,00	52,00

Tabla 2. Resumen de valores de MOE Dinámico obtenidos mediante ensayos destructivos y no destructivos en Vigas de Stoneville 67 de 2"x4"

	E. GLOBAL (Eg)	ULTRASONIDO (Eu)	VIBRACION (Ev)
MAXIMO (Nw/mm ²)	14.982	22.571	15.383
MINIMO (Nw/mm ²)	8.663	10.943	9.698
PROMEDIO (Nw/mm ²)	11.957	14.064	12.680
PERCENTIL 5% (Nw/mm ²)	9.999	11.592	10.663
DESVIO (Nw/mm ²)	1.299	2.227	1.362
COV	0,11	0,16	0,11
CANTIDAD	43,00	43,00	43,00

Para el análisis y comparación entre los valores medios se calcularon las diferencias porcentuales de los valores obtenidos mediante ensayo no destructivos con los provenientes del ensayo a flexión (ver Tabla 3 y 4).

Al momento de los ensayos, tanto experimentales como no destructivos, las probetas se encontraban con el mismo tenor de humedad variando entre el 12% y 15%.

Tabla 3. Comparación de ensayos no destructivos con el MOE Global en Tablas de Stoneville 67 de 4"x1"

	ULTRASONIDOS (Eu) (Eu-Eg)/Eg	VIBRACIONES (Ev) (Ev-Eg)/Eg
PROMEDIO	12,71%	-22,28%

Tabla 4. Comparación de ensayos no destructivos con el MOE Global en Vigas de Stoneville 67 de 2"x4"

	ULTRASONIDOS (Eu) (Eu-Eg)/Eg	VIBRACIONES (Ev) (Ev-Eg)/Eg
PROMEDIO	17,63%	6,05%

Se observa que el valor del MOE calculado por ultrasonido, presenta valores superiores con una variación del 12,71 % en tablas y un 17,63 % en vigas.

Por otro lado, el valor del MOE calculado por vibraciones, presenta una variación en menos del 22,28% en tablas y un 6,05% en vigas (ver Tablas 3 y 4).

Para la comparación de los valores de MOE mediante ensayos destructivos y no destructivos se graficaron los resultados obtenidos (ver Gráfico 1 y 2).

Gráfico 1. Resumen de valores de MOE Dinámico obtenidos mediante ensayos destructivos y no destructivos en Tablas de Stoneville 67 de 4"x1"

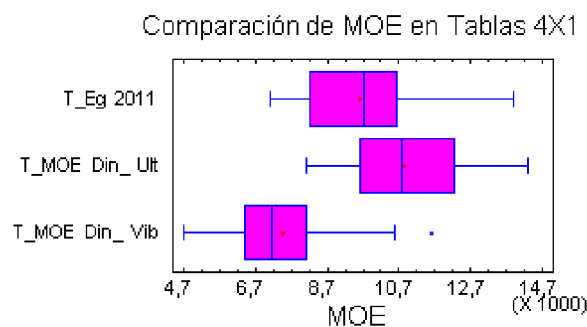
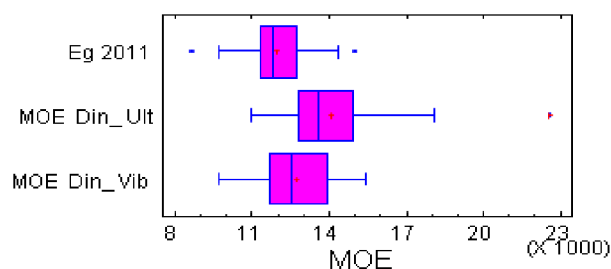


Gráfico 2. Resumen de valores de MOE Dinámico obtenidos mediante ensayos destructivos y no destructivos en Vigas de Stoneville 67 de 2"x4"

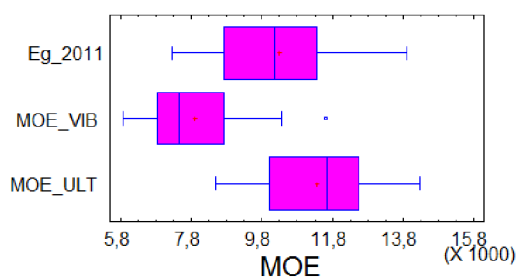
Comparación de MOE Vigas 2X4



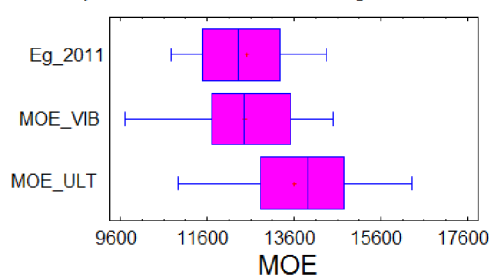
Se observa que los valores obtenidos para las vigas presentan menos variación para el valor del MOE calculado mediante ensayo a flexión, por ultrasonido y por vibración, mientras que en las tablas presenta mayor variación.

A las probetas ensayadas, las hemos clasificado según Esquema IRAM 9662/4 pudiendo observar los siguientes resultados del valor de MOE obtenidos experimentalmente, por ultrasonido y por vibración.

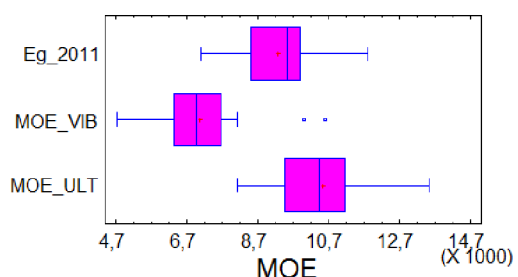
Comparación de MOE en Tablas de Clase 1



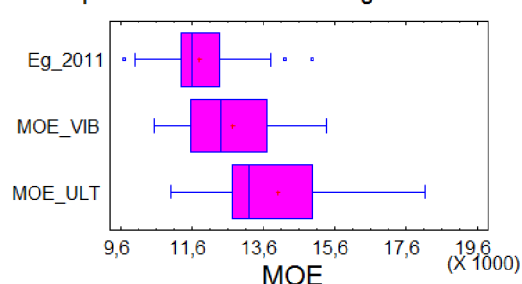
Comparación de MOE en Vigas de Clase 1



Comparación de MOE en Tablas de Clase 2



Comparación de MOE en Vigas de Clase 2



Las tablas de clase 1 presentan una mayor dispersión en las diferencias porcentuales que las tablas de clase 2. El valor medio de MOE obtenido por el método de ultrasonido es más próximo a los obtenidos por ensayo de rotura, que por el método de vibraciones.

Las vigas de clase 1 presentan una mayor dispersión en las diferencias porcentuales de datos que las tablas de clase 2. El valor medio de MOE obtenido por el método de vibraciones es más próximo a los obtenidos por ensayo de rotura, que por el método de ultrasonido.

4. Conclusiones

Los valores obtenidos de MOE por el método de ultrasonido resultaron más cercanos a los obtenidos por flexión en tablas +12.71%, mientras que para vigas un +17.63%.

Y el método de vibraciones resultaron más cercanos a los obtenidos por flexión en vigas +6.05%, mientras que para tablas un -22.28%.

No mejora la precisión de ambos métodos no destructivos dividiendo las probetas en clases resistentes.

5. Bibliografía

Acuña Rello, Luis. La transmisión de ultrasonidos aplicada a la madera estructural.

Acuña Rello, Luis. Clasificación de madera estructural de P. pinaster Ati. mediante ultrasonidos.

Norma UNE-EN 1310 (1997). Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las singularidades.

Norma UNE-EN 408 (2011). Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.

Norma UNE-EN 384 (2010). Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.

Norma UNE-EN 13183-1 (2002). Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.