

2.2. Estudio de la influencia de la dirección de la fibra en la velocidad de propagación de ondas sónicas (Fakopp) en madera estructural

Autores: José Antonio Balmori y Luis-Alfonso Basterra Otero

Contacto: balmori_svb_@hotmail.com

Afiliaciones: Dpto. Construcciones Arquitectónicas, Ingeniería del Terreno y Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras. E.T.S. de Arquitectura. Universidad de Valladolid.



Universidad de Valladolid

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA DIRECCIÓN DE LA FIBRA EN LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE ONDAS SÓNICAS (FAKOPP) EN MADERA ESTRUCTURAL

**Jose Antonio Balmori Roiz (UVa)
Dr. Luis-Alfonso Basterra Otero (UVA)**

III REUNIÓN CIENTÍFICA IBEROAMERICANA SOBRE MADERA ESTRUCTURAL DEL GÉNERO *POPULUS*

15 AL 17 JUNIO 2015 (PALENCIA / VALLADOLID)



TEMAS A TRATAR

1_ ANTECEDENTES

2_ DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA MADERA EN SERVICIO

3_ TRABAJO EXPERIMENTAL_ LABORATORIO

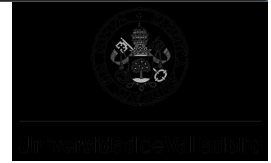
4_ ENSAYOS EN ESTRUCTURA EN SERVICIO

5_ RESULTADO

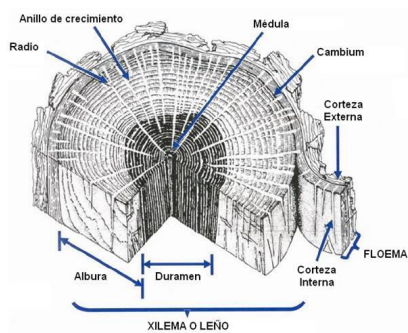


1_ ANTECEDENTES

CONFIGURACIÓN DE LA MADERA:



CONFIGURACION MACROSCÓPICA
(a simple vista)



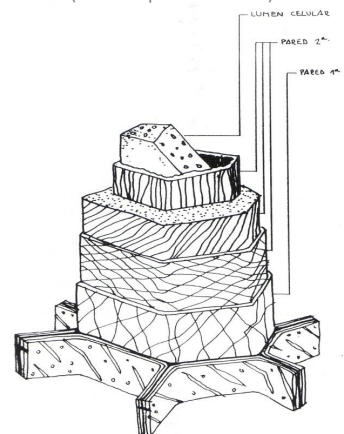
Partes de la configuración de la madera
(albura, duramen,...)
Defectos
(nudos, entrecasco, gemas,...)

CONFIGURACIÓN MICROSCÓPICA
(microscópio óptico)



Células tubulares
(Traqueidas, células de parenquina,...)

CONFIGURACION ULTRAMICROSCÓPICA
(microscópio electrónico)



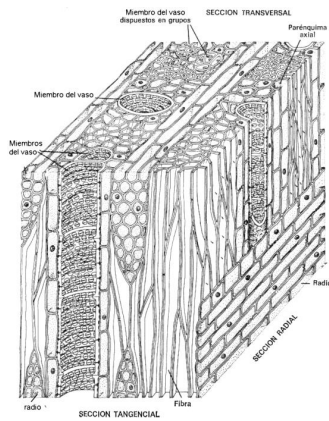
Pared celular
(microfibrillas de celulosa "celobiosa",
lignina)

1_Antecedentes

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MADERA:



HETEROGENEIDAD



Esta heterogeneidad se traduce en una variable estructura anatómica y en la aparición de "defectos" que influyen en las mediciones de ultrasonidos.

ANISOTROPÍA



Puede simplificarse como un material ortotropo, con una dirección longitudinal predominante frente a otra (que engloba la dirección radial y tangencial) secundaria.

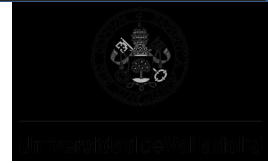
HIGROSCOPICIDAD



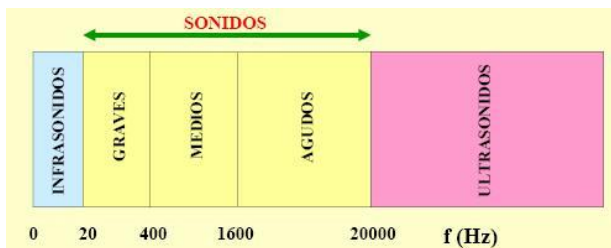
Las microfibrillas de celulosa ($C_6H_{10}O_5$) por sus radicales libres (-OH) son capaces de captar o ceder H_2O . Este fenómeno se afecta a las propiedades físico-estructurales hasta que satura (aprox.30%H)

1_Antecedentes

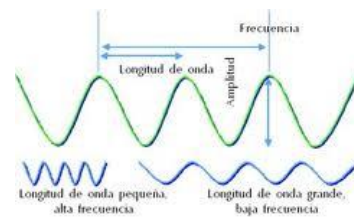
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ULTRASONIDOS



UMBRAL DE AUDICIÓN HUMANO (20Hz – 20kHz)



RELACIÓN ENTRE FRECUENCIA/LONG. ONDA



Se comienzan a utilizar como END por la industria belica de la IIGM.

Se basa en la utilización de ondas elasticas (necesitan un medio material para poder propagarse) en el umbral de los ultrasonidos.

Se utilizan frecuencias ultrasónicas entre 20 y 200 kHz. En madera por su configuración microscópica se usan frecuencias "bajas".

A mayor frecuencia menor longitud de onda; eso se traduce en mayor precisión y menor penetración. (IMPORTANTE)

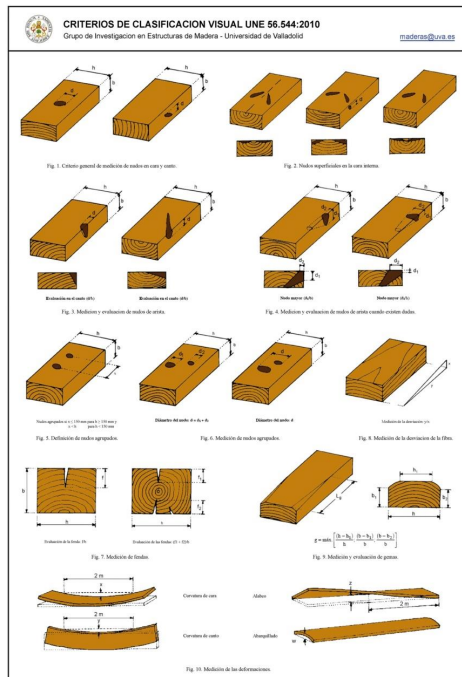
Cuando el ultrasonido atraviesa disitintos medios materiales [una zona de menor densidad (mas aire), defectos (nudos, fendas,...)], varía su velocidad; es decir le cuesta más o menos atravesarlo y gracias a ello se puede utilizar como END.

1_Antecedentes



2_DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA MADERA EN SERVICIO

A) CLASIFICACIÓN VISUAL



UNE 56.544:2011 (Madera de coníferas)

Pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.); pino laricio (*Pinus nigra* Arn.var. Salzmannii); Pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait.); Pino insigne (*Pinus Radiata* D.Don)

CALIDADES: ME-1; ME-2; MEG

UNE 56.546:2013 (Madera de frondosa)

Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill); Castaño (*Castanea sativa* Mill)

CALIDADES: MEF; MEF-G



UNE EN 1912:2012 (Clases resistentes para las calidades visuales)

Para cada calidad visual y especie se le asigna una clase resistente



UNE 338:2010 (Clases resistentes)

Se obtendrían los valores característicos para cada clase resistente

INCONVENIENTES PARA SU USO EN ESTRUCTURAS EN SERVICIO

-Limitación para su empleo en grandes escuadrias.

-Daños superficiales (meteorización, pudriciones, ataques xilofagos) impide la utilización de este método sin genera desclasados o rechazos.

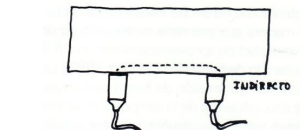
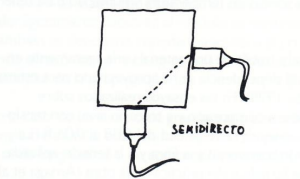
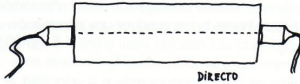
2_Determinación de las propiedades de la madera en servicio

B) EMPLEO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

RESISTÓGRAFO, EXTRACTOR DE TORNILLOS, TERMOGRAFÍA, HOLE DRILLING, ULTRASONIDOS



TIPO DE ENSAYO



RESULTADO OBTENIDO

Opción 1_ MOE dinámico

Ligeramente superior al MOE estático utilizado en cálculo

$$MOE_{dinámico} = V^2 \cdot \rho$$

Opción 2_ Clase resistente

Partiendo de investigaciones previas puede relacionarse escalones de velocidad con clases resistentes.

Velocidad (m/s)	Clase-resistente
$V_{bajo} = 4.100 \text{ a } 4.900$	C14-a-C16
$V_{medio} = 4.900 \text{ a } 5.100$	C18
$V_{alto} = 5.100 \text{ a } 5.400$	C22

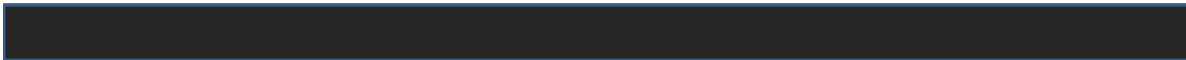
FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN

- Angulo de medición (max. Longitudinal ; min. Transversal)
- Contenido de humedad (0,8% x cada 1%HR) (VR 12%HR)
- Longitud de lectura
- Otros (temp., tensión, geometría,...) (aprox. 0,05%)

2_Determinación de las propiedades de la madera en servicio

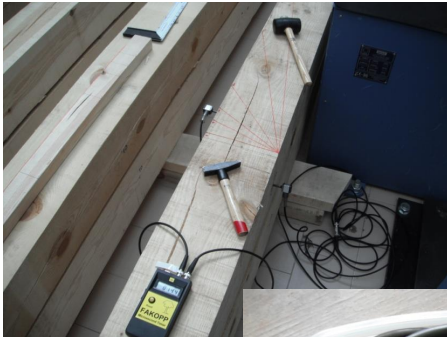


3_TRABAJO EXPERIMENTAL LABORATORIO





Equipo utilizado:



-Xilohigrómetro POWERFIX PROFÍ MOD. 1,5 A1

-Equipo de ultrasonidos FAKOPP *Microsecond Timer*

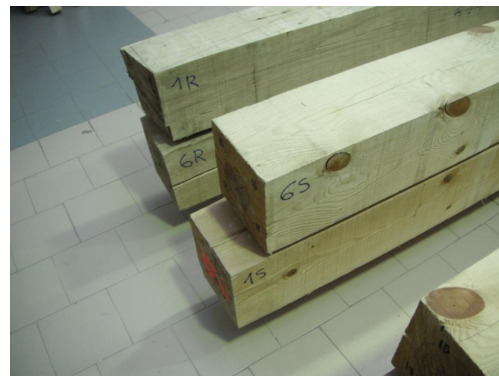
- Taladro eléctrico marca BOSCH GSB 13RE, con broca 6mm.

3_Trabajo experimental_Laboratorio



Los ensayos de laboratorio se han realizado en *laboratorio de maderas de la E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia de la UVa.*

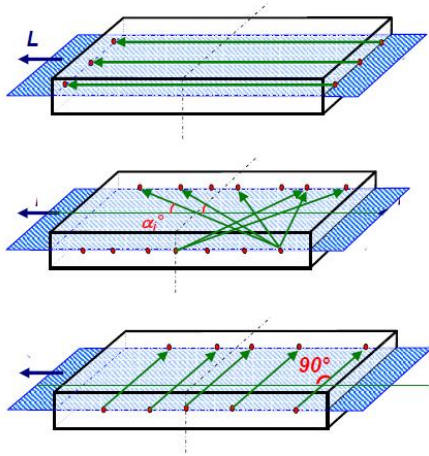
Se han utilizado **6 vigas de pino radiata** y **6 vigas de pino silvestre** de dimensiones 6000x 200x 200 mm, sobre las que se han realizado un total **384 medidas**, (*60 mediciones directas* testa a testa, *192 mediciones indirectas* con distintos ángulos y *132 mediciones transversales*). Lo que representa en volumen total de lecturas o datos de velocidad generados de 3072 lecturas de las cuales 1152 son lecturas previas (desechadas) y **1920 lecturas de ensayo registradas**.



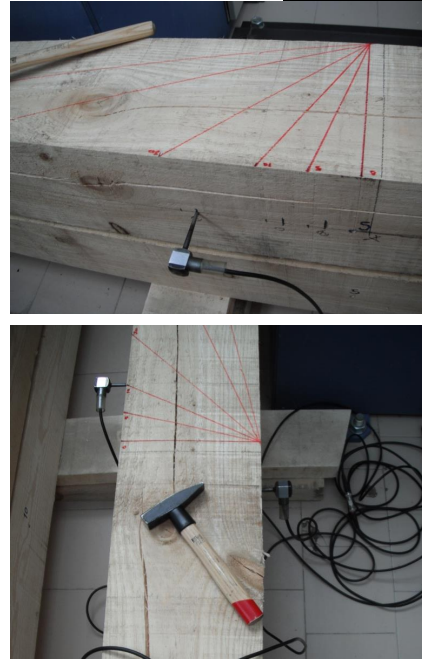
3_Trabajo experimental_Laboratorio

METODOLOGÍA DEL ENSAYO

GENERACIÓN DE ABANICOS A 3, 6, 11, 22'5, 45, 60 y 75°

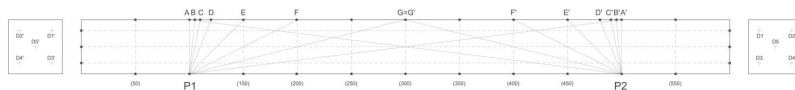


Abaco utiliza por el Grupo de Investigaciones de la Madera de la Universidad de Valladolid con antelación



3_Trabajo experimental_Laboratorio

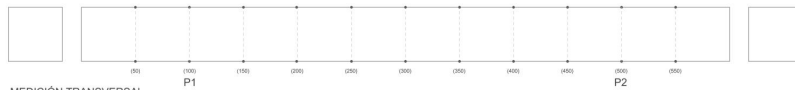
Ensayos realizados:



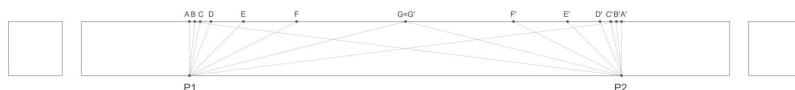
MEDICIÓN COMPLETA



MEDICIÓN LONGITUDINAL



MEDICIÓN TRANSVERSAL



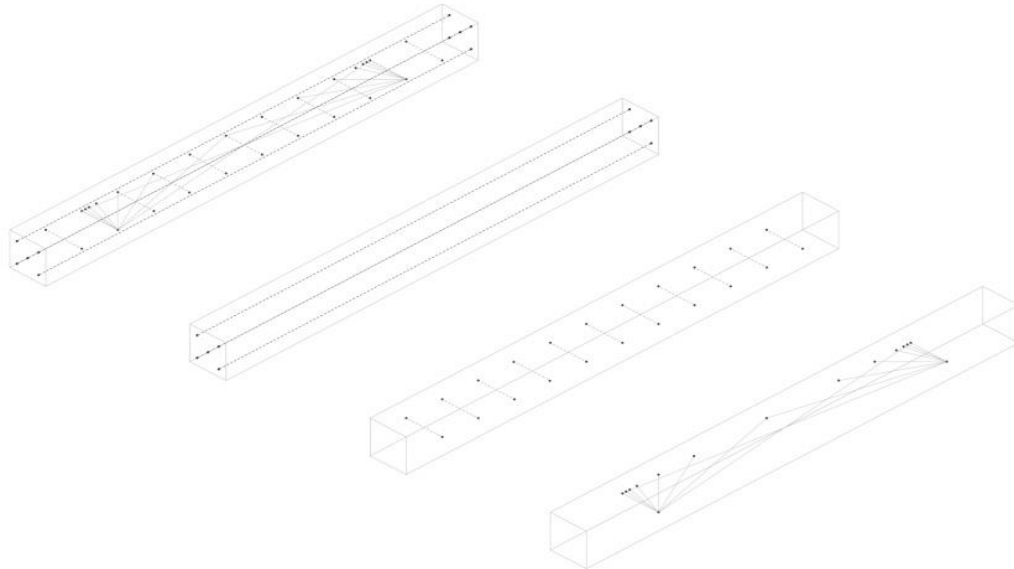
MEDICIÓN INDIRECTA



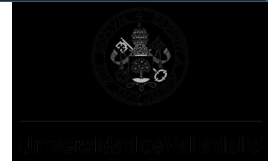
3_Trabajo experimental_Laboratorio



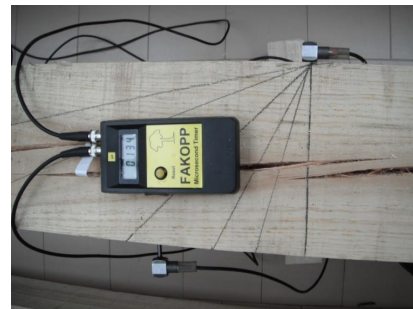
Ensayos realizados:



3_Trabajo experimental_Laboratorio



Ensayos realizados:



3_Trabajo experimental_Laboratorio

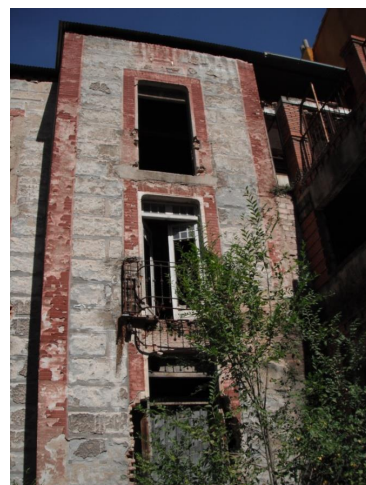


4_ENSAYOS EN ESTRUCTURA EN SERVICIO



Los ensayos in situ se realizaron sobre la estructura de un **edificio de viviendas del S.XIX** del centro de Valladolid, **conocido como “Villa Julia”**, actualmente en estado de ruina. Las piezas ensayadas son viguetas de madera de pino silvestre de medidas aproximadas 5000x 140x 120 mm.

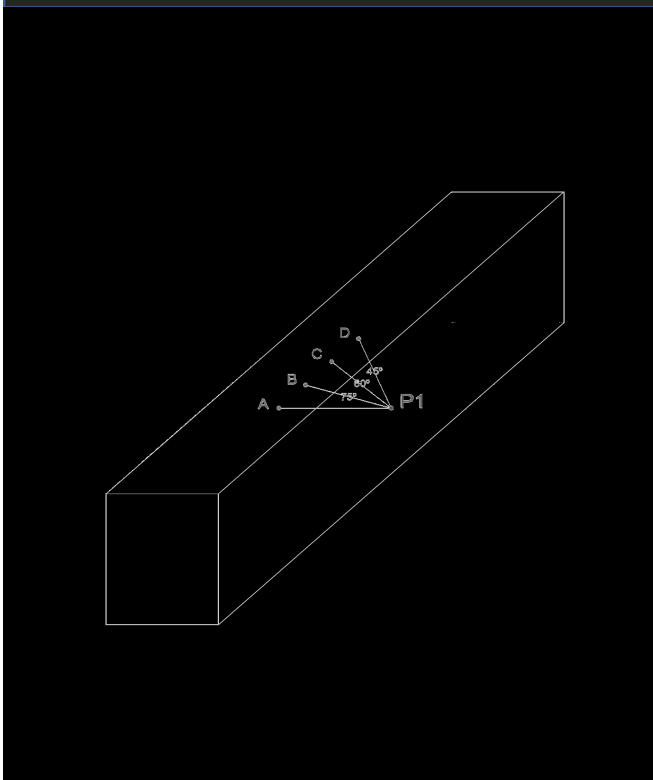
Se ensaya sobre 12 viguetas, realizándose un total de **48 mediciones**, obteniéndose de **384 datos**.





PLANO-DE-TECHO-DE-LA-PLANTA-BAJA

4_Ensayos en estructura en servicio



4_ENSAYOS EN ESTRUCTURA EN SERVICIO

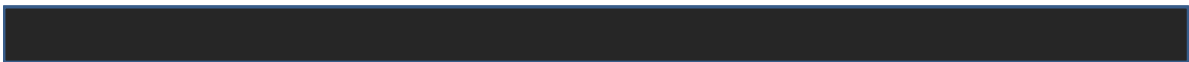
Ensayos realizados:



4_ Ensayos en estructura en servicio



5_RESULTADO



$$\text{Velocidad} = 4667 - 348,938 \cdot \sqrt{\text{Raíz}}$$

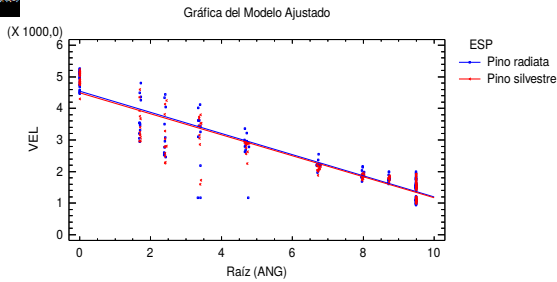


Gráfico del modelo de ajustado velocidad de propagación-raíz cuadrada del ángulo de aplicación

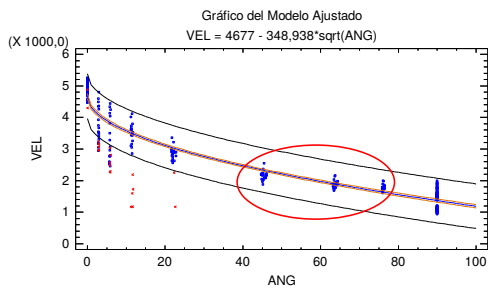


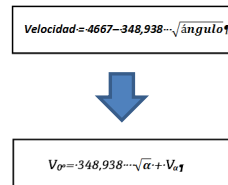
Gráfico del modelo de ajustado velocidad de propagación-ángulo de aplicación para las especies pino silvestre y pino radiata.

1_ La influencia de la dirección de fibra en la medición de velocidades de propagación es **determinante**.

2_ **No existe una diferencia significativa entre las propiedades** elásticas de la madera de pino radiata y pino silvestre (para su uso en END de ultrasonidos)

3_ Los ángulos que ofrecen unas **mediciones indirectas más fiables** son los ángulos de **75º, 60º y 45º**; siendo el más destacado el de 75º.

4_ **Es posible obtener un modelo de ajuste** que relacione velocidad angular, ángulo de aplicación y velocidad longitudinal.



Ecuación de ajuste para transformar medidas indirectas en directas equivalentes

5_ Resultados

Es muy interesante la potencialidad para continuar:

1_ Profundizando en la línea de investigación, ampliando el estudio a especies comunes en construcción (castaño, roble,...).

2_ Ajustando la relación entre MOE_{dyn} y MOE basandose en la velocidad de propagación angular, profundizando en el modelo de ajuste iniciado.

3_ Normalizando el uso de END de ultrasonidos (medición transversal) conjuntamente a la Clasificación Visual en estructuras en servicio.

FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN



SI EXISTE ALGUNA DUDA O COMENTARIO ESTARÉ ENCANTADO EN INTENTAR RESPONDERLES.

¡MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

