

## EVALUACIÓN COMPARADA DE MÉTODOS DE ENSAYO DESTRUCTIVOS SOBRE MADERA DE UN EDIFICIO EN REHABILITACIÓN

### COMPARED TEST METHODS ASSESSMENT FOR THE EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES ON WOOD OBTAINED FROM A BUILDING UNDER RENOVATION

Luengo, Emilio <sup>(1)</sup> \*; Cabrero, Juan Carlos <sup>(2)</sup>; de Villota, Javier <sup>(3)</sup>; Hermoso, Eva <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Ing. de Montes. AITIM, Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera. Madrid, España

<sup>(2)</sup> Ing. Industrial. CIFOR-INIA. Laboratorio de Productos de Madera Para la Construcción. Madrid, España

<sup>(3)</sup> Arquitecto, Máster en Patología de la edificación. Profesional liberal, Madrid, España

<sup>(4)</sup> Dra. Ing. de Montes. CIFOR-INIA. Laboratorio de Productos de Madera Para la Construcción. Madrid, España

\* Contacto: [e.luengo@aitim.es](mailto:e.luengo@aitim.es)

CÓDIGO: 4618398

#### Resumen

Dentro de los proyectos de rehabilitación de edificios de cierta antigüedad uno de los interrogantes principales gira en torno a conocer las propiedades mecánicas asignables a la madera de la estructura. No obstante esta es una tarea afectada por importantes limitaciones debido a la variabilidad de la madera y a la dificultad para la obtención de material destinado a ensayos, especialmente si estos son de carácter destructivo. Si bien es frecuente el uso de técnicas no destructivas, estas no muestran siempre buena correlación en la predicción de valores de resistencia, por lo que la realización de ensayos destructivos sobre el material continua siendo una técnica aconsejable. En esta línea, el objetivo de este estudio ha sido realizar una valoración comparada en piezas de gran escuadría de los resultados de diferentes métodos de ensayo destructivos con tamaños de probeta pequeños y medianos con respecto a los obtenidos en ensayos de flexión de vigas a tamaño real según la norma EN 408. Los ensayos con probetas a tamaño real mostraron propiedades mecánicas relativamente reducidas, quizás asociadas a la presencia de madera juvenil. Se observó así mismo que los ensayos de pequeñas o medianas dimensiones obtenidas a partir de estas vigas no son adecuados para la valoración de la resistencia de las mismas, y se aprecia que el ensayo de flexión de probeta de pequeñas dimensiones y el de compresión de probeta mediana podrían ser útiles para la estimación del módulo de elasticidad, si bien se requerirían estudios más detallados.

*Palabras-clave: Métodos de ensayo, Propiedades mecánicas, Rehabilitación de edificios antiguos*

#### Abstract

A frequent problem that arise in old building renovation projects is to assess the mechanical properties that could be assigned to the wood present in the structure. This is a task affected by important limitations due to the high variability expected in the structural wood and the difficulty in obtaining test specimens, especially if they are going to be used in destructive tests. Although it is frequent to use non destructive techniques, these not always show a good correlation in the prediction of strength results, and for this reason to perform destructive testing is still recommended. The present study performs a compared assessment using small and medium size specimen tests methods compared to full-size bending tests according to EN 408 for beams of large size cross-sections. The results from the full-size bending tests showed low mechanical properties, possibly related with the presence of juvenile wood. In the other hand the tests performed shows that the small and medium size tests are not suitable methods to assess the bending strength of the beams from which the specimens were taken, and that small size bending tests and medium size compression tests could be useful to estimate the modulus of elasticity of the beams, although more research will be needed in order to assess its performance.

Keywords: Test methods, Mechanical properties, Old building renovation



## 1. INTRODUCCIÓN

El efecto del tamaño de la probeta en ensayos de flexión es conocido desde la primera mitad del siglo pasado, así Newlin y Trayer (1924) ya apreciaron reducciones en la resistencia a flexión de piezas libres de defectos con el incremento de altura de estas. Estos efectos continuaron siendo estudiados posteriormente en madera libre de defectos por otros autores, por ejemplo Tucker (1941) y Comben (1957).

Por otro lado a partir de los trabajos realizados por Madsen en los años 70 del pasado siglo (Madsen, 1976), el uso de ensayos con probetas libres de defectos ha venido siendo abandonado para la caracterización de propiedades mecánicas de madera estructural en favor del uso de probetas de madera de tamaño y calidad comercial. Debido a que se detectaban diferencias entre los modos de fallo y valores de resistencia de las probetas pequeñas libres de defectos y las de madera comercial.

En España también se han realizado para especies nacionales estudios respecto a los efectos sobre la resistencia de la altura (Hermoso, Fdez-Golfín y Díez, 2002) y del volumen de las piezas, (Fdez-Golfín, Hermoso y Díez, 2002). En los que se apunta a diferencias en los factores de corrección de la resistencia debidos a la altura según la especie.

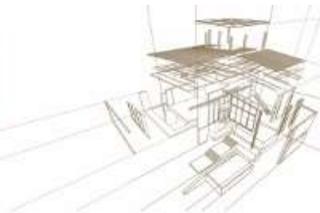
El uso de ensayos de madera con tamaño y calidad comercial introdujo cambios importantes en las metodologías de cálculo y también incorporó el empleo de la clasificación de la madera para uso estructural en madera nueva, por ejemplo en España con el uso de la norma UNE 56544 (2011) para coníferas.

Sin embargo cuando se presenta la necesidad de estudiar las propiedades mecánicas de piezas de madera antigua instaladas en edificios se presentan numerosos problemas ya que este material en origen no ha sido clasificado con las especificaciones de la normativa vigente, y aunque su ensayo a tamaño real proporciona información muy relevante, es complejo por requerir demoliciones o difíciles extracciones de piezas.

En este contexto surgieron las técnicas no destructivas para el estudio de propiedades mecánicas por ejemplo en el ámbito de España por Arriaga et al (2005) o Montero (2013), si bien se han mostrado más útiles en la estimación del módulo de elasticidad del material que en la predicción de la resistencia. Así mismo en el uso de estas técnicas aún existe un importante camino por recorrer en el estudio de especies, la unificación de modelos y el estudio de factores de ajuste, Íñiguez et al. (2015).

En España por similitud con la forma de trabajo que se emplea en el estudio o caracterización de otros materiales como el hormigón es frecuente que se soliciten ensayos empleando cantidades pequeñas de material extraídas de la estructura de una obra, y ello pese a que se informa a los prescriptores sobre las dificultades que presenta la madera en su caracterización y la falta de adecuación de este procedimiento en un material con la variabilidad y características específicas de la madera.

El presente estudio plantea el estudio de propiedades mecánicas de material procedente de un lote de vigas obtenidas de un edificio antiguo mediante ensayos de tamaño pequeño, y especialmente como posible técnica de mejora en tamaño mediano, comparados con ensayos de material a tamaño real.



Además de permitir ejemplificar mediante un caso concreto las dificultades que genera el uso de ensayos con cantidades reducidas de material, se ha considerado interesante realizar estos ensayos para estudiar si pese a ello se pueden obtener datos útiles en la caracterización de la madera especialmente en casos con dificultades importantes en la obtención de material a tamaño real. También se considera importante la realización de estudios aplicados sobre material procedente de obras, como este, ya que al analizar material presente en las edificaciones también aflora información importante a tener en cuenta.

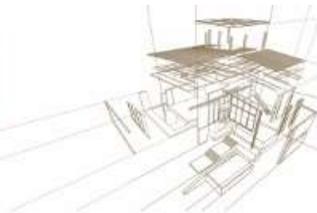
El material utilizado para el desarrollo de este estudio procede de las vigas principales de un forjado de suelo perteneciente a una antigua fábrica de harinas en proceso de rehabilitación, (Figura 1). El edificio se encuentra en Fuentepelayo, localidad del noroeste de la provincia de Segovia (España) inserta en la comarca denominada “tierra de pinares”. Su planta, en forma de “L”, está constituida por una sucesión de naves de distinto carácter cuya agrupación se ha materializado a lo largo del tiempo en función de las necesidades a cubrir.

La primera referencia histórica sobre el edificio data del año 1873, en cuyo solar se encontraba en funcionamiento una fábrica de fósforos, cuya actividad se mantuvo hasta la entrada en vigor del monopolio estatal sobre la fabricación de este producto de 1893. Durante la segunda década del siglo XX se remodela para convertirse en fábrica de harinas. En abril de 1948 sufre un incendio, que reduce a cenizas los forjados, las cubiertas y la maquinaria del edificio. Los trabajos de reconstrucción se iniciaron de inmediato dotando a la fábrica de un nuevo sistema de producción, que se encomendó a una prestigiosa consultora suiza.

La última gran transformación de la fábrica se gestó a lo largo del año 1951, pocos meses después de finalizar los trabajos de reconstrucción, cuando se hizo imprescindible ampliar la superficie de los almacenes, motivo por el cual se edificó una nave anexa contra la fachada norte del edificio principal: de su derribo en la actualidad se han extraído las piezas de madera necesarias para la este estudio.



*Figura 1. Izquierda aspecto de uno de los forjados del que se extrajeron vigas. Derecha extracción y manipulación de una viga en la obra.*



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron 7 vigas principales para su ensayo mecánico. Las piezas presentaban sección aproximadamente rectangular con escuadrías comprendidas entre 180 x 180 mm y 220 x 220 mm, y longitudes aproximadamente entre 4,2 y 4,8 m. Algunas estaban afectadas por gemas importantes y en algún caso caras cóncavas debidas a resinación.

Estas vigas se ensayaron a flexión en tamaño real según la norma UNE-EN 408:2011+A1 (2012) con medición de deformación en su parte inferior (Figura 3, izquierda). Además se obtuvieron muestras para determinación del contenido de humedad, y se realizó identificación microscópica de la especie de madera en dos de las vigas.

Por otro lado, de los extremos de las piezas ensayadas, fuera de las zonas afectadas por la rotura, se procedió a obtener dos tramos separados de viga, Secciones A y B, de 600 y 1000 mm de longitud respectivamente, destinadas a la obtención de las probetas adicionales para el resto de ensayos mecánicos del estudio (Figura 2).

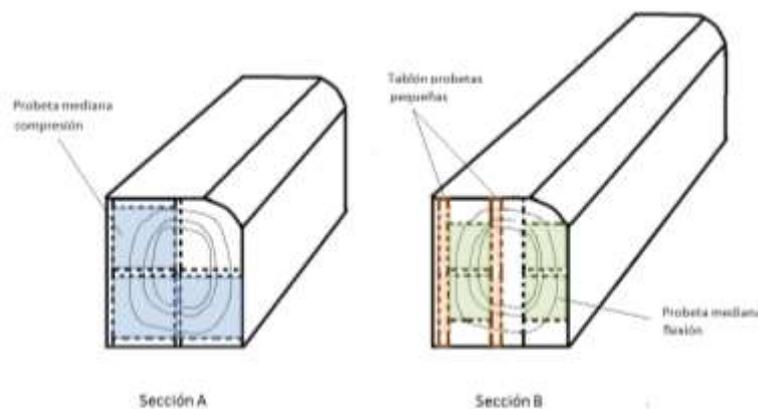


Figura 2 – Ejemplo de despiece de probetas a partir de las secciones de viga

Las probetas de pequeño tamaño se obtuvieron a partir de dos tablones de 25 mm de grosor extraídos en dos localizaciones de la sección transversal, una de ellas más próxima a la zona central de la pieza, y otra más exterior. Estos tablones fueron alistonados para obtener probetas de flexión de 20 x 20 x 300 mm y probetas de compresión de 20 x 20 x 60 mm.

Se descartaron las probetas pequeñas de flexión que presentaban desviación de fibra superior al 25% o defectos que abarcaban más de 2/3 de la sección en dos caras de la pieza. El resto de probetas se ensayaron sin realizar una clasificación específica con el fin de muestrear lo más completamente el material de cada tablón. Posteriormente se registraron los defectos presentes en las probetas para discriminar las probetas libres de defectos<sup>1</sup>. Las probetas de compresión pequeñas se tomaron libres de defectos.

Se obtuvo así mismo la mayor cantidad posible de probetas de tamaño mediano tanto de compresión, de tamaño 90 x 90 x 540 mm, como de flexión, de tamaño 50 x 50 x 900 mm. Estas probetas no fueron clasificadas según sus singularidades.

<sup>1</sup> Se clasificaron como libres de defectos las piezas sin nudos y con desviación de fibra inferior o igual al 10%.



En total se ensayaron 217 probetas de flexión de probeta pequeña (entre 27 y 33 probetas por viga), de las cuales 72 resultaron ser piezas libres de defectos. También se ensayaron a compresión 28 probetas pequeñas libres de defectos (4 probetas por viga). En probetas de tamaño mediano se ensayaron 25 probetas de flexión (entre 2 y 6 probetas por viga) y 18 probetas de compresión (de 1 a 4 probetas por viga, generalmente entre 2 y 4 unidades por pieza). Todas fueron acondicionadas en condiciones estándar de 20° C y 65 % de humedad relativa previamente a su ensayo.



Figura 3. Izquierda ensayo de viga a tamaño real. Derecha, Compresión de probeta mediana.

Las probetas medianas de compresión fueron ensayadas según la norma UNE-EN 408:2011+A1 (2012), Figura 3, derecha. Las piezas medianas de flexión fueron ensayadas sobre dos apoyos separados 800 mm (16 veces la altura de la pieza) y bajo una carga central empleando un protocolo de ensayo similar al utilizado en el ensayo según UNE-EN 408.

Los ensayos de flexión de pequeñas dimensiones se realizaron según la norma UNE 56537 (1979) sobre dos apoyos separados 240 mm y bajo una carga central. La medición de deformación no está incluida en esta norma pero se realizó para obtención del correspondiente módulo de elasticidad empleando un extensómetro colocado en el centro del vano por la parte inferior de la probeta. Por último los ensayos de compresión de pequeñas dimensiones se realizaron según la norma UNE 56535 (1977).

Para el cálculo de las propiedades mecánicas de los ensayos según la norma UNE-EN 408 se emplearon las expresiones contenidas en la norma en sus correspondientes apartados. Para los ensayos a flexión bajo una carga central (en probeta mediana y pequeña) se utilizaron las siguientes expresiones matemáticas, ecuaciones 1 y 2:

$$E_{m,0} = \frac{L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot k} \quad (1) \quad f_{m,0} = \frac{3 \cdot F_u \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (2)$$

Siendo:

L Luz entre apoyos en mm;



h y b Altura y anchura respectivamente de la probeta en mm;

$F_u$  y k Carga de rotura en N y pendiente fuerza-deformación en mm/N respectivamente.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resultados de los ensayos

Las Tablas 1 y 2 resumen los resultados medios por viga de los diferentes ensayos.

Tabla 1: Resumen de resultados medios de resistencia por tipo de ensayo

Viga	Probeta pequeña			Probeta mediana		Viga
	Flexión $f_{m,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )		Compresión $f_{c,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Flexión $f_{m,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Compresión $f_{c,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Flexión $f_{m,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )
	Todas	Sin defectos	Sin defectos			
1	87,7 [13%]	92,2 [10%]	34,1 [40%]	81,0 [7%]	31,4 [7%]	37,4
2	47,8 [34%]	67,5 [27%]	38,1 [21%]	18,7 [47%]	21,0 [2%]	14,4
3	46,2 [21%]	53,6 [11%]	29,1 [21%]	23,4 [15%]	26,6 [5%]	13,0
4	51,5 [16%]	52,6 [17%]	28,6 [22%]	17,3 [61%]	27,0 [9%]	15,5
5	68,4 [23%]	78,0 [12%]	33,8 [19%]	30,7 [34%]	20,2 [15%]	20,8
6	59,7 [32%]	67,8 [23%]	32,7 [11%]	23,7 [53%]	19,3 [6%]	14,2
7	44,1 [25%]	50,7 [41%]	24,3 [25%]	20,6 [54%]	18,9 [--%]	18,2
2 a 7	53,2 [31%]	64,0 [25%]	31,1 [23%]	22,9 [47%]	23,0 [18%]	16,0 [18%]

Notas:(1) Viga 1de madera de olmo (Ulmus ssp.). Vigas 2 a 7 similares, de madera de pino pinaster (P. pinaster Ait.). Se tratan como dos grupos de material diferente. (2) Entre corchetes se muestran los valores del coeficiente de variación en tanto por ciento. (3) Fila final viga 2 a 7, muestra la media de los ensayos de este grupo. (4) Contenido humedad en las vigas entre el 10 y el 11,5 %.

Tabla 2: Resumen de resultados medios de módulo de elasticidad por tipo de ensayo

Viga	Probeta pequeña		Probeta mediana		Viga
	Flexión $E_{m,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )		Flexión $E_{m,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Compresión $E_{c,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Flexión $E_{m,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )
	Todas	Sin defectos			
1	10173 [15%]	10949 [11%]	11483 [5%]	7989 [20%]	8331
2	5726 [31%]	8462 [16%]	4576 [11%]	4994 [7%]	6286
3	4879 [21%]	5827 [19%]	4483 [19%]	5058 [32%]	4527
4	6393 [12%]	6697 [11%]	4500 [7%]	6372 [8%]	6341
5	7686 [18%]	8507 [11%]	7401 [27%]	5584 [31%]	6771
6	6559 [29%]	7661 [18%]	5531 [25%]	5022 [12%]	5056
7	5067 [17%]	5696 [25%]	4408 [32%]	4067 [--%]	4643
2 a 7	6093 [27%]	7400 [19%]	5504 [33%]	5444 [23%]	5604 [17%]

Aplican las mismas notas que en la Tabla 1.



### 3.1 Análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión de vigas

Con respecto a los valores obtenidos en el ensayo de vigas a tamaño completo se detectan varias cuestiones interesantes:

- La presencia de una pieza, viga 1, con una resistencia claramente mayor que el resto, que fue posteriormente identificada mediante análisis microscópico como de madera de olmo, mientras que el análisis practicado en otra pieza del grupo menos resistente se identificó como pino pinaster (la especie esperada inicialmente).
- La obtención de valores de resistencia y módulo de elasticidad a flexión inferiores a las habituales recogidas en el sistema de clases resistentes en las vigas 2 a 7. El módulo de elasticidad medio en estas piezas es de 5604 N/mm<sup>2</sup> inferior al de una clase resistente C14. Una posible explicación podría ser la presencia de madera juvenil, o bien que el material proceda de una población con propiedades especialmente bajas.

### 3.2 Análisis de los datos de resistencia obtenidos en ensayos de probetas pequeñas y medianas.

Del estudio de los datos de la Tabla 1 se puede inferir que la resistencia a flexión obtenida en los ensayos de pequeñas dimensiones es claramente mayor que la obtenida en los ensayos de probetas medianas y de vigas completas. Así mismo los ensayos de medianas dimensiones presentan una resistencia media mayor que la obtenida en los ensayos de flexión de vigas de tamaño completo.

La primera derivación de estos resultados es que el uso directo de la resistencia obtenida en ensayos de probeta de pequeña y mediana dimensión para la estimación de la resistencia de vigas de tamaño real es inadecuado.

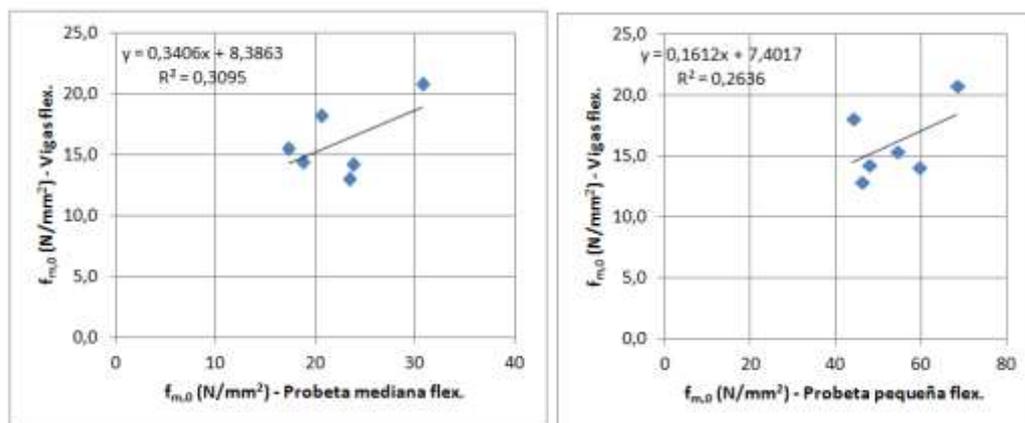


Figura 4. Gráficos que relacionan resistencias a flexión de varios ensayos en las vigas 2 a 7.

El estudio de relación entre resultados de resistencia con los métodos de probeta pequeña y mediana con los resultados obtenidos en las vigas 2 a 7, véase Figura 4, indica que no se aprecian correlaciones y los coeficientes de determinación que se pueden obtener mediante regresión simple son bajos. Esto implica que en estas vigas los resultados obtenidos con los ensayos medianos o pequeños en cada pieza no informan sobre los resultados de resistencia esperados.



Este resultado tiene lógica si atendemos al hecho de que el tamaño de las vigas es muy superior al de las probetas medianas o pequeñas, y la proporción o presencia de defectos en unas y otras es diferente. Los menores valores en las vigas serían probablemente explicables por la teoría del eslabón más débil (Madsen y Buchanan, 1986).

Numéricamente en este caso el ensayo más próximo al de flexión de las vigas completas es el de flexión de probeta mediana, especialmente si se aplica una corrección por factor de altura según lo indicado en la norma UNE-EN 384:2016+A1 (2019) para el grupo de vigas 2 a 7, ya que se obtendrá un valor medio próximo al obtenido en las vigas.

No obstante este ensayo de flexión mediana presenta una elevada variabilidad en los resultados de probetas en cada viga, asociados a la presencia de nudos y otros defectos, que lo hacen poco fiable como predictor. Además como se ve en la Figura 4 (izquierda) no hay una correlación fuerte entre los valores medios obtenidos por viga con estos ensayos y los obtenidos en los propios ensayos de las vigas.

Los ensayos de compresión en lo referente a la resistencia del material presentan un comportamiento análogo al descrito sobre los ensayos de flexión y también presentan baja correlación en la predicción de resistencia de las vigas. Su uso directo como estimación de la resistencia del material de tamaño real sería igualmente incorrecto.

### 3.3 Análisis de los datos de módulo de elasticidad obtenidos en ensayos de probetas pequeñas y medianas.

Los valores de módulo de elasticidad a flexión entre probetas pequeñas o medianas con respecto a las vigas a tamaño real presentan menores diferencias dentro de la muestra de vigas 2 a 7, que las observadas para la resistencia.

En el caso de la viga 1 la situación es diferente ya que los valores del ensayo de flexión pequeña y mediana son claramente superiores a los obtenidos en la viga correspondiente.

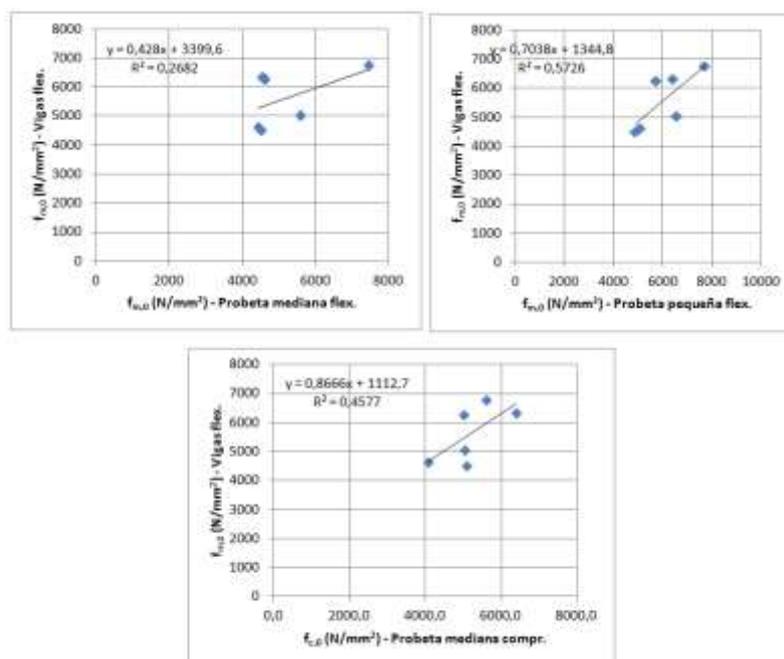
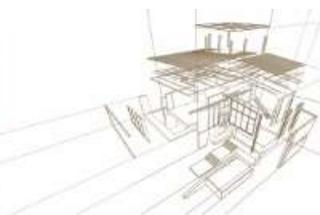


Figura 5. Gráficos que relacionan módulos de elasticidad de varios ensayos en las vigas 2 a 7.



Como se puede apreciar en la Figura 5, para el ensayo de flexión de probeta pequeña y para el ensayo de compresión de probeta mediana se observa correlación entre los valores de módulo de elasticidad medios por viga de los diferentes ensayos y los obtenidos en las vigas. Por lo que estos ensayos podrían ser un estimador global medio del módulo de elasticidad del grupo, si bien debido a que la muestra es pequeña debería realizarse un estudio más completo.

Por otro lado en la Tabla 2, como se indicaba, se detecta que el valor de módulo de elasticidad a flexión de probeta mediana en la viga 1 es muy superior al análogo de la viga, lo que difiere de lo visto en las vigas de pino. Esto podría indicar diferencias en la comparación de los resultados de ensayo debidas a la especie, en línea con lo indicado por otros autores (Fernández-Golfín, Hermoso y Diez, 2002). Lo que implicaría la necesidad de una investigación que incluya diferentes especies en varios lotes para evaluar las prestaciones de estos métodos como estimadores del módulo de elasticidad.

Como se puede apreciar en la Tabla 2 los ensayos de pequeñas y medianas dimensiones presentan dispersión, lo que indica que su uso requiere de la realización de un número relativamente importante de probetas por cada viga o pieza en estudio.

En el caso de los ensayos de compresión de probeta mediana se aprecian vigas con baja variabilidad (probetas con resultados muy similares entre sí) junto a otras que muestran diferencias más importantes entre sus probetas, quizás asociadas con presencia de madera juvenil, si bien no se ha podido extraer un patrón concreto de comportamiento que pueda usarse para confirmar este aspecto. Como resultado también es recomendable cuando se realice este ensayo el uso de varias probetas por pieza en estudio.

Con respecto a la posible detección de madera juvenil mediante el ensayo de probetas pequeñas en dos tablones por viga, no se han detectado patrones claros de diferencias entre las probetas de los tablones interiores (más próximos a la médula y con mayor posibilidad de presentar áreas de madera juvenil) con respecto a los tablones exteriores.

#### **4. CONCLUSIONES**

Se han realizado ensayos a flexión de tamaño real de 7 vigas principales procedentes de una obra en rehabilitación en España. Se observa una viga de mayor resistencia y rigidez que fue identificada como de madera de olmo (*Ulmus ssp.*), y un grupo de 6 piezas similares de madera de pino pinaster (*P. Pinaster Ait.*), estas últimas con una resistencia reducida en torno a una clase resistente C14 y un módulo de elasticidad por debajo del indicado para esta clase.

Con el fin de valorar la viabilidad de usar ensayos de menores dimensiones en casos especiales en los que fuese complejo tomar material de tamaño completo se extrajeron de estas vigas probetas de pequeñas dimensiones y probetas medianas en zonas no afectadas por la rotura, para su ensayo a flexión y a compresión según diversas metodologías.

Los resultados de estos ensayos indican que como era esperable según la bibliografía, la resistencia de las probetas pequeñas y medianas es superior a la obtenida en las vigas, y además los resultados medios de resistencia obtenidos con estos ensayos no muestran correlación con los resultados de las diferentes piezas ensayadas a tamaño real.



Por tanto queda justificado el rechazo de la metodología para valorar la resistencia de vigas completas a partir de probetas pequeñas o trozos parciales de las mismas.

Por otro lado en el estudio del módulo de elasticidad en el grupo de piezas de pino se ha obtenido correlación entre los ensayos de flexión de pequeña dimensión y de compresión de probeta mediana con los obtenidos en las vigas. Ambos ensayos apuntarían a ser posibles métodos de estimación del módulo de elasticidad, si bien se requeriría un estudio más amplio que el realizado para valorar su funcionamiento.

Por último los resultados de los ensayos de flexión de probeta pequeña y mediana de la viga de olmo presentan valores muy superiores a los obtenidos en el ensayo de la viga, por lo que se abre la posibilidad de que el funcionamiento de estos métodos varíe con la especie, cuestión que también debería estudiarse en futuros trabajos más detallados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arriaga, F., Esteban, M. and Relea, E. (2005) Evaluation of the load carrying capacity of large cross section coniferous timber in standing structures. *Mater. Construcc.* Vol. 55, nº 280.

Comben, A.J. (1957) The effect of depth on the strength properties of timber beams, with an analysis of the stresses and strains developed. *Great Britain Dep. Sci. and Ind. Res., Forest Prod. Res. Spec. Rep. No. 12*, London.

Fdez-Golfín J.I., Hermoso, E., Díez R. (2002) Análisis del efecto del volumen sobre la resistencia característica a flexión de la madera de los pinos silvestre y laricio de procedencia española. *Materiales de Construcción* vol. 52, no. 268: 43-55.

Hermoso, E. & Fdez-Golfín, J. and Díez, R. (2002). Análisis del factor de altura kh en la madera aserrada estructural de pino silvestre. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, Vol. 11, Nº 2: 441-448.

Iñiguez-Gonzalez, G., Arriaga, F., Esteban, M., Fernández-Llana, D. (2015) Reference conditions and modification factors for the standardization of nondestructive variables used in the evaluation of existing timber Structures. *Construction and Building Materials* 101.

Madsen, B.; Nielsen P.C. (1976) In-grade testing: size investigations on lumber subjected to bending. *Structural Research Series Report No. 15*. University of British Columbia, Department of Civil Engineering, Canada.

Madsen B., Buchanan, A.H. (1986) Size effects in timber explained by a modified weakest link theory. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 13:218-232.

Montero, M.J. (2013) Clasificación de madera estructural de gran escuadría de *Pinus Sylvestris L.* mediante métodos no destructivos. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Newlin, J.A. and Trayer, G.W. (1924) The influence of the form of a woodem beam on its stiffness and strength, II. Form factors of beams subjected to transverse loading only. *NACA Ann. Report 9 (Tech Rept. 181)*. Reprint by Forest Products Laboratory in 1941, Madison, US.

Tucker, J. (1941) Statistical theory of the effect of dimensions and of method of loading upon the modulus of ruptura of beams. *Amer. Soc. For Testing and Materials Proc.* 41: 1072-1094.

UNE 56544 (2011) Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de conífera. AENOR, Madrid, España.

UNE 56537 (1979) Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la flexión estática. IRANOR, Madrid, España.

UNE 56535 (1977) Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la compresión axial. IRANOR, Madrid, España.

UNE-EN 384:2016+A1 (2019) Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. AENOR, Madrid, España.

UNE-EN 408:2011+A1 (2012) Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. AENOR, Madrid, España.