

IV Congreso Nacional de Protección de la Madera



Organiza



16-17 junio 2005

Palacio Miramar · San Sebastián



Cómo citar este trabajo:

Casado, M.; Pinazo, O.; Basterra, L.A.; Acuña, L.; (2005) Técnicas de Ensayo No Destructivas en madera estructural mediante extracción de tornillos: aplicación en viguetas de forjado de un edificio singular. *Actas del IVº Congreso Nacional de protección de la madera*. CIDEMCO (Ed.) Donostia-San Sebastián.

TÉCNICAS DE ENSAYO NO DESTRUCTIVAS EN MADERA ESTRUCTURAL MEDIANTE EXTRACCIÓN DE TORNILLOS. APLICACIÓN EN VIGUETAS DE FORJADO DE UN EDIFICIO SINGULAR.

Casado M*., Pinazo O.* , Basterra A**., Acuña L*.

Universidad de Valladolid* Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Avda. Madrid 44. 34071. Palencia.

**Departamento de Ingenierías del terreno y Edificación. Escuela de Arquitectura de Valladolid.

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza una técnica de ensayo quasi no destructiva basada en el registro, mediante un aparato adecuado, de la máxima fuerza aplicada al arrancar tornillos previamente introducidos en una determinada sección de madera.

El estudio se realizó sobre 39 viguetas de *Pinus sylvestris* de espesor 7,5 cm, anchura variable 17,5 - 20,5 y 22,5 cm y longitud de 300 – 400 y 500 cm. Dichas viguetas pertenecen al forjado de un edificio singular de la ciudad de Valladolid.

El objetivo fundamental de la línea de investigación en la que este trabajo de investigación se inserta consiste en poner a punto una metodología de inspección que permita diagnosticar el estado de degradación de estructuras de madera y evaluar su capacidad residual o la necesidad de intervención sobre ellas. Por otra parte los resultados se contrastarán con otros métodos no destructivos de ensayo.

INTRODUCCIÓN

La importancia de la madera como elemento estructural no es exclusiva del momento actual, ya que en la antigüedad era un material empleado con mucha frecuencia. Prueba de ello son las estructuras de madera de muchos edificios antiguos que todavía siguen cumpliendo sus funciones.

Por otro lado, la madera es un material que se puede degradar debido a la acción de diversos agentes, tanto bióticos como abióticos. Por este motivo, es necesario conocer en cada momento su capacidad real de resistencia, lo cual ha sido afrontado a lo largo de la historia basándose, fundamentalmente, en la realización de inspecciones visuales y rudimentarios ensayos de impacto de tipo artesanal, cuyo resultado se evaluaba sobre la base de un expertizaje de carácter empírico. Actualmente se dispone de distintos sistemas de diagnóstico, destructivos y no destructivos, más acordes con el método científico.

Los **ensayos de flexión** son métodos no destructivos que permiten calcular el módulo de elasticidad de la pieza ensayada, pero a cambio exigen que la pieza sea retirada de su ubicación habitual para ser montada sobre una máquina universal de ensayos. La norma de referencia en nuestro país es la UNE-EN 408:2004.

La realización de los ensayos de flexión y de rotura, así como la determinación de la densidad de la pieza, permiten determinar unos valores conocidos como característicos que permiten asignar clases resistentes a las distintas piezas. El cálculo de los valores característicos se realiza según lo dispuesto en la norma UNE-EN 338:2003, mientras que la asignación de clases resistentes se hace según la norma UNE-EN 384:2004.

El **método de ultrasonidos** es una técnica no destructiva que consiste en determinar la velocidad de propagación de una onda ultrasónica, para lo cual es necesario definir previamente la distancia recorrida y medir el tiempo invertido. Este método se basa en que los defectos y singularidades de la pieza estudiada (menor calidad) reducen la velocidad de propagación de la onda, ya que ésta deberá sortear mayores obstáculos en su camino. Frente al método descrito anteriormente, el de ultrasonidos presenta la ventaja de que puede ser empleado “in situ” para la evaluación de madera puesta en obra.

Finalmente, el ensayo basado en el **extractor de tornillos** es un método quasi no destructivo, pues su afección a la pieza es mínima, que consiste en introducir un tornillo en la pieza que se desea estudiar para posteriormente arrancarlo con el extractor. Durante dicha operación se mide la resistencia al arranque que presenta la pieza, que coincide con la máxima fuerza aplicada para lograrlo. Al igual que los ultrasonidos se trata de un método portátil y de fácil implantación en obra, habiendo sido escasamente empleado en España.

ANTECEDENTES

Cabe señalar que son escasos los estudios realizados sobre esta técnica, destacando los siguientes: “Predicting bending strength of fire-retardant-treated plywood from screw-withdrawal tests” (**Winandy et al., 1998**) en el cual sus autores desarrollaron un método de ensayo y un modelo de predicción para estimar la resistencia a la rotura de tableros contrachapados que habían sido tratados con retardantes del fuego, todo ello mediante ensayos de arranque de tornillos. Los resultados que obtuvieron mostraron que muy frecuentemente la resistencia al arranque de tornillos determinada a partir de una sola extracción por muestra era más de un 25% mayor o menor que la determinada como la media de dos o más extracciones. Por este motivo, los autores recomiendan efectuar al menos 2 extracciones por muestra.

En el estudio “Evaluation of the wooden structure of a Baroque palace in Papa, Hungary” (**Divos et al., 1999**) sus autores utilizaron el mismo extractor de tornillos que el empleado en el presente estudio, todo ello con el fin de evaluar el estado de una estructura de madera. En dicho estudio, combinaron 4 métodos de diagnóstico, que fueron el examen visual de la estructura, la resistencia al arranque de tornillos, la velocidad de propagación de la onda en dirección longitudinal y el muestreo mediante taladro. Los tornillos empleados tenían un diámetro de 4 mm y se introducían en el

material hasta una profundidad de 18 mm. Posteriormente, el tornillo se arrancaba a una velocidad que oscilaba entre los 0,2 y 0,4 mm/s, registrándose además la máxima fuerza efectuada. Utilizando la resistencia al arranque de tornillos y la velocidad de onda obtenida por ultrasonidos, los autores obtuvieron una fórmula para predecir el MOR que es la siguiente:

$$MOR_{est} = 1,258 \times F \times v^2 + 36,9$$

Donde:

MOR_{est} es el módulo de rotura estimado con el modelo (MPa)

F es la resistencia al arranque de tornillos (kN)

v es la velocidad de la onda (km/s)

El fabricante del extractor de tornillos (**Fakopp Enterprise**) asegura que la resistencia al arranque de tornillos es un parámetro local, pero seleccionando una posición representativa en la viga se convierte en una información útil para evaluar una estructura de madera. En este sentido, utilizando muestras de madera de 4 x 6 x 80 cm, el fabricante efectúa un ajuste entre el MOR y la resistencia al arranque de tornillos en el que obtiene un coeficiente de correlación de 0,72. También efectúa un ajuste entre la resistencia al arranque y la densidad, resultando en este caso un coeficiente de 0,79.

MATERIAL Y MÉTODOS

La madera empleada en el presente estudio perteneció a un edificio de viviendas emblemático en la ciudad de Valladolid. Sobre él, una empresa constructora ha procedido a una rehabilitación integral con conservación mayoritaria de la estructura de madera, habiéndose seleccionado una crujía completa de la planta primera para la realización de este trabajo.

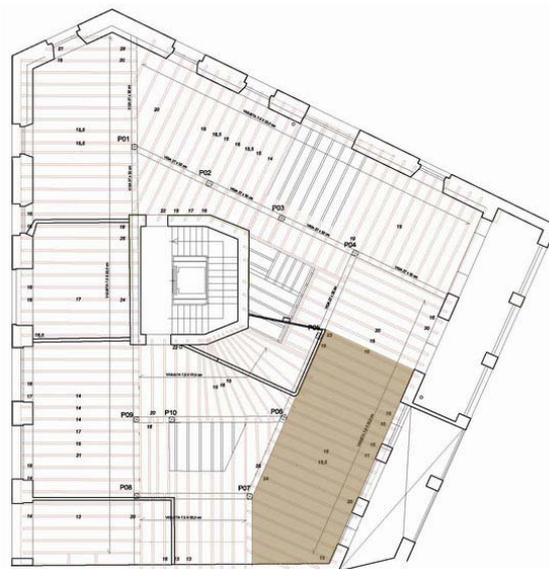


Figura 1. Planta del edificio Mantilla, señalando la crujía adquirida para los ensayos.

El lote lo componían 39 viguetas de sección rectangular con unas dimensiones de 17,5 x 7,5 x 400 cm, 20,5 x 7,5 x 400 cm y 22,5 x 7,5 x 450 cm, que se corresponde a una de las crujiás de la planta primera, que ha sido reemplazada completamente.



Imagen 2. Viguetas acopiadas en laboratorio

Se realizaron los siguientes ensayos:

- i) Ensayo no destructivo con equipo de ultrasonidos.
- ii) Ensayos en máquina universal.
- iii) Ensayos no destructivos mediante el extractor de tornillos.
- iv) Determinación de la densidad y humedad.

i) Ensayo no destructivo con equipo de ultrasonidos.

Se ha realizado con el Sylvatest® con una frecuencia de 30 khz (imagen 2). Este aparato utiliza un generador de ultrasonidos y, con la ayuda de un palpador emisor y de un palpador receptor, situados a una distancia fija, mide el tiempo (μs) que tarda la onda ultrasónica en llegar de uno al otro. En función de esa información y de otros datos como la especie (densidad), la longitud de la pieza y su geometría (sección cuadrada o redonda) se puede calcular el Módulo de Elasticidad, ya que existe una relación directa entre la velocidad de la onda y el Módulo de Elasticidad (MOE) ecuación (1).

$$v = \frac{L}{t} \qquad \text{MOE} = v^2 \cdot \rho \qquad (1)$$

Siendo:

v = Velocidad de propagación longitudinal de las ondas ultrasónicas a través de la madera (m/s).

L = Distancia entre palpadores o longitud de la probeta (m).

t = Tiempo que tarda en percibir el palpador-receptor la onda emitida por el palpador-emisor (s).

MOE = Módulo de Elasticidad Dinámico (N/mm^2).

ρ = Densidad de la viga ensayada (kg/m^3).



Imagen 3. Equipo de ultrasonidos Sylvastest.

En cada pieza se realizaron dos medidas directas, para lo cual los palpadores se colocaron enfrentados, es decir, de modo que la onda ultrasónica se propagara en paralelo al eje longitudinal de la pieza de testa a testa. También se utilizó el método indirecto en el que los palpadores se introducen formando un ángulo de 45° entre el eje longitudinal de la pieza y la superficie de las caras o del canto inferior (imagen 4). Este método es útil –y en ocasiones el único posible– para tomar medidas en piezas de madera que están puestas en obra donde, en general, las testas no son accesibles. Se realizaron dos mediciones con ultrasonidos en ambas caras de cara a la opuesta, así como en el canto inferior o canto visto en obra.



Imagen 4. Método indirecto, con el palpador emisor colocado en la cara con una inclinación de 45° .

ii) Ensayos en máquina universal.

Los ensayos de flexión se ejecutaron según la norma UNE-EN 408:2004 “Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas”. Para ello se empleó una máquina universal de ensayos de 100 KN de capacidad. Para la determinación del

módulo de elasticidad global de canto a flexión (MOEGTO) se colocó el palpador como indica la figura 2.

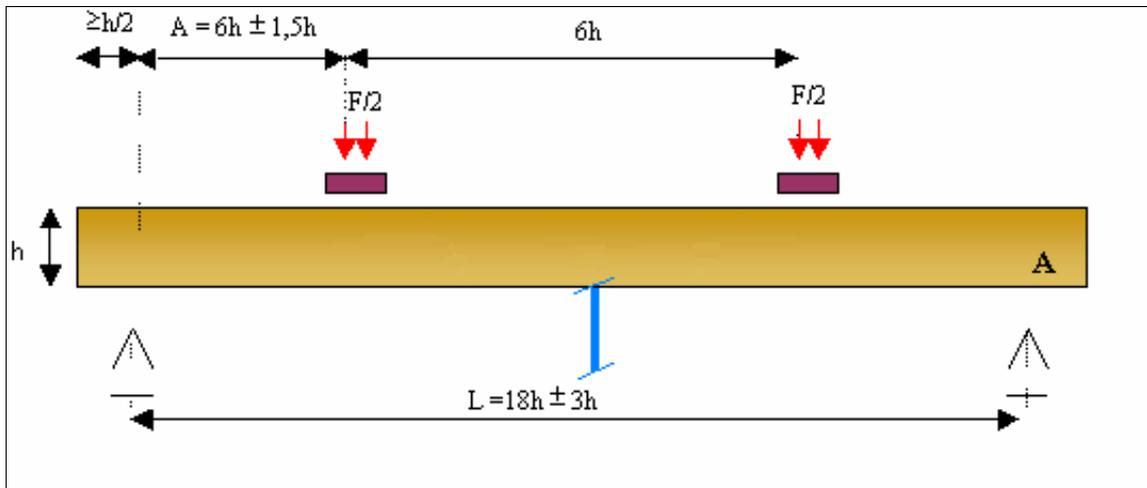


Figura 2. Esquema del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad global de canto a flexión (MOEGTO)

Las variables de funcionamiento de la máquina para el ensayo se seleccionaron dependiendo del canto de la pieza a ensayar, con la velocidad adecuada para que el ensayo se realice según la norma indicada anteriormente. Una vez anotada la carga y la deformación del canto se retiró el palpador y el ensayo se continuó posteriormente hasta la rotura en un ensayo destructivo anotándose entonces el “módulo de rotura” o la resistencia a la rotura MOR.

iii) Ensayos no destructivos mediante el extractor de tornillos.

Los parámetros que influyen en la resistencia al arranque de tornillos son muy variados, por lo que antes de realizar las mediciones hubo que decidir una serie de aspectos previos como:

- Diámetro del tornillo a utilizar.
- Longitud de tornillo que debe introducirse.
- Definición de las zonas donde se deben realizar las mediciones.
- Número de extracciones que deben hacerse por muestra.

La elección del diámetro se hizo sobre los tornillos de 4 mm, ya que además de haber sido utilizados en un trabajo similar (Divos *et al.*, 1999) y ser los expresamente recomendados por el fabricante, los de 5 mm presentaban una serie de defectos, entre los cuales los más importantes eran las fuerzas más elevadas que había que aplicar y las dificultades en el arranque.

En relación a la longitud del tornillo puesto que venía definida por el modo en que habían sido realizados los tornillos suministrados por el fabricante, no se podía modificar y tan sólo se podía actuar sobre la profundidad de inserción. En este caso, se decidió introducir la parte inferior y media del tornillo, dejando tan sólo la parte superior en el exterior. De este modo se pretendía que la resistencia al arranque fuera ejercida por aquellas fibras situadas a una profundidad de entre 20 y 38 mm.



Imagen 4. Tornillos de 3, 4 y 5 mm.



Imagen 5. Extractor de tornillos.

Las zonas sobre las que realizar las mediciones se eligieron fuera de la influencia de nudos, fendas u otras singularidades que pudieran afectar en los resultados, siguiendo también las recomendaciones del fabricante.

Para determinar el número de extracciones se decidió tomar como referencia los resultados del estudio de Winandy et al. (1998), estableciendo un total de 9 extracciones por vigueta. Las zonas que se eligieron para realizar los ensayos fueron el canto inferior de cada muestra (zona de tracción), así como la parte inferior de cada una de sus caras. Esta elección coincide con las zonas más accesibles de las viguetas cuando éstas están puestas en obra, por lo que se logra así una mayor representatividad de los resultados.

En cuanto a la realización del ensayo, una vez sujeta la probeta con sargentas para evitar cualquier vibración y movimiento, se introduce el tornillo con un pretaladro hasta los 38 mm y se coloca el extractor siguiendo las instrucciones del fabricante. La velocidad de giro del husillo en el sentido de las agujas del reloj se fijó a un ritmo de media vuelta en 3 ó 4 segundos, de modo que cuando el dispositivo de sujeción entraba en contacto con la cabeza del tornillo comenzaba a registrar la fuerza de arranque aplicada, a la vez que proporcionaba la fuerza máxima registrada hasta el momento, que es la que se anota.

iv) Determinación de la densidad y contenido de humedad.

La densidad se determinó según lo dispuesto en la norma UNE-EN 408:2004 “Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas”.

La humedad se midió con las mismas probetas que se emplearon para el cálculo de la densidad y según lo dispuesto en la norma EN 13.183-1/AC:2004 “Contenido de

humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa”.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los resultados de los ensayos de flexión y densidad no resulta posible la asignación de una clase resistente según la norma UNE-EN 338:2003, ya que si bien la densidad y módulo de elasticidad dan valores dentro de la citada norma no ocurre lo mismo con la resistencia a la flexión. El valor característico de la densidad (415 kg/m^3) situaría a las viguetas de la Casa Mantilla en una clase C35 como la media de la especie, al igual que ocurre con el módulo de elasticidad (10.113 N/mm^2) quedando así englobadas en una C22 coincidiendo con los resultados de Hermoso et al. (2002 y 2003) con pino silvestre. Sin embargo, el valor característico de la resistencia a la flexión ($7,57 \text{ N/mm}^2$) es muy inferior a los que aparecen en la citada norma, de modo que ni siquiera es comparable con el de la peor clase resistente¹.

A continuación se muestra un cuadro resumen de las variables con las que se ha hecho una estadística descriptiva (Tabla 1).

Tabla 1. Cuadro resumen de las variables consideradas

VARIABLE	Nº de muestras	Valor característico	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Velocidad de propagación método directo	39	-	5119 m/s	413 m/s	8,07%
Velocidad de propagación método indirecto cara a cara	39	-	4396 m/s	981 m/s	22,31%
Velocidad de propagación método indirecto canto	39	-	4449 m/s	848 m/s	19,05%
Módulo de elasticidad global de canto (MOEGTO) a flexión	34	10113 N/mm^2	10113 N/mm^2	2760 N/mm^2	27,29%
Resistencia a la flexión estática (MORC)	34	$7,57 \text{ N/mm}^2$	$28,58 \text{ N/mm}^2$	$11,56 \text{ N/mm}^2$	40,24%
Humedad	39	-	10,21%	0,68%	6,65%
Densidad	39	415 kg/m^3	491 kg/m^3	46 kg/m^3	9,30%
Número de anillos en 5 cm	39	-	36	16,35	45,37%
Espesor máximo de los anillos	39	-	3,05 mm	1,30 mm	42,54%
Resistencia media al arranque	39	-	2,33 kN	0,40 kN	14,57%
Resistencia media al arranque en el canto	39	-	2,27 kN	0,34 kN	14,88%
Resistencia media al arranque en la cara delantera	39	-	2,35 kN	0,36 kN	15,47%
Resistencia media al arranque en la cara trasera	39	-	2,37 kN	0,39 kN	16,41%

La velocidad de propagación de la onda ultrasónica es mayor cuando se calcula por el método directo que cuando se hace por cualquiera de los dos métodos indirectos, que a su vez presentan valores similares. El valor medio de la velocidad de propagación por el

¹ Este dato debe ser tomado con precaución ya que se trata de piezas madera que puede haber sufrido daños no perceptibles durante su desmontado en obra, carga, transporte, descarga, etc.

método directo es similar al de otros autores para la misma especie. Según Hermoso et al. (2003) correspondería a una calidad C27 y según Esteban (2003) correspondería a una clase C16 por resistencia a flexión y C22 por módulo de elasticidad. El método directo es mejor estimador del MOEGTO que el método indirecto, dentro del cual para el empleo de ultrasonidos en obra es preferible aplicar la medida en la caras de forma cruzada que en el canto.

Los resultados del número de anillos en 5 cm y el espesor máximo en la madera analizada queda dentro de las especificaciones que la norma UNE-EN 56544:2003 establece para pino silvestre con calidad de madera estructural de primera (ME1), pero las relaciones con la fuerza del extractor y la resistencia a flexión no son estadísticamente significativas. Además, se trata de parámetros que en otros estudios se han mostrado poco útiles para caracterizar madera.

En relación a los resultados de extracción de tornillos es importante señalar que no se aprecian diferencias significativas realizando el ensayo en la cara o en el canto. Por otra parte el contenido de humedad no influye sobre la fuerza media de arranque para los intervalos de humedad considerados en el presente estudio, es decir, entre el 8,5% y el 12,5%, rango de valores por otra parte frecuentes en madera puesta en obra.

El MOEGTO presenta una relación estadísticamente significativa con la fuerza media del extractor por vigueta, pero el bajo coeficiente de determinación logrado en el ajuste impide utilizar la ecuación obtenida para estimar el módulo de elasticidad a partir de la fuerza. Por otra parte el MORC y la fuerza media de arranque obtenida en cada vigueta no muestran una relación estadísticamente significativa. Por tanto la fuerza no se puede emplear, al menos por si sola, como un estimador del MORC. Sin embargo se ha intentado establecer una relación entre el MORC y una variable conjunta formada por la resistencia al arranque y la velocidad de propagación, ya que se trata de dos variables independientes. No obstante, a pesar de haber logrado una relación estadísticamente significativa con un grado de confianza del 95%, el coeficiente de determinación obtenido en el ajuste fue muy bajo y por ello la ecuación asociada a dicho modelo no puede ser utilizada para estimar el MORC a partir de la resistencia al arranque y de la velocidad de propagación.

Se ha comprobado que existe una relación estadísticamente significativa entre la densidad media de las viguetas y la fuerza media de arranque obtenida en cada una de ellas, de modo que se ha determinado la ecuación que permite calcular la densidad de la madera a partir de la fuerza medida con el extractor de tornillos. Además, se ha comprobado que la fuerza media de arranque calculada en el canto presenta una relación estadísticamente significativa con la densidad media y permite una mayor agilidad en la realización de los trabajos, evitando un deterioro innecesario de los elementos analizados. La ecuación del modelo ajustado, es la siguiente:

$$\text{Densidad (g/cm}^3\text{)} = \frac{1}{0,956276 + \frac{2,3611}{\text{Fuerza canto (kN)}}$$

El coeficiente de correlación obtenido (r) es de 0,79, mientras que el coeficiente de determinación (r^2) resulta ser de 0,62. El p -valor de la tabla Anova (0,0000) indica que la relación entre las variables es estadísticamente significativa con un grado de confianza del 99%.

Finalmente se realizó un ensayo para analizar la utilidad del extractor de tornillos como método de diagnóstico de madera puesta en obra, para lo que se seleccionó una viga con zonas atacadas por cerambícidos y zonas con madera sana y se diseñó un muestreo de pinchazos con el extractor. Los resultados estadísticos muestran que existen diferencias significativas entre los valores de fuerza obtenidos en el ensayo, la fuerza asociada a una madera sana es, por término medio, un 85% mayor que la que se puede obtener en madera atacada.

Tabla 3. Tabla ANOVA correspondiente a la resistencia al arranque (kN) frente al estado de la madera

ANOVA Table for Resistencia al arranque by Estado de la madera					
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	49,5163	1	49,5163	203,07	0,0000
Within groups	37,308	153	0,243843		
Total (Corr.)	86,8244	154			

Los resultados obtenidos se explican por el hecho de que cuando el tornillo se introduce en una zona atacada (Imagen 6) la resistencia al arranque la presentan fibras que se encuentran dañadas o en algunos casos (como ocurre con las galerías) ni siquiera hay fibras, de modo que la sección que ofrece resistencia se reduce y la lectura obtenida es por ello menor. De manera análoga, cuando la madera está sana (Imagen 7) la lectura es mayor.



Imagen 6. Zona atacada donde se introdujo el tornillo. La lectura fue de 1,25 kN.



Imagen 7. Zona sana donde se introdujo el tornillo. La lectura fue de 2,62 kN.

CONCLUSIONES

El extractor de tornillos es un buen predictor de la densidad de la madera y no manifiesta influencia del contenido de humedad de la misma, para un rango de humedad comprendido entre el 8,5 al 12,5%.

Hasta el momento los resultados analizados indican que el extractor de tornillos no es un buen estimador del módulo de elasticidad de la madera ni de la resistencia a flexión. Tampoco se obtuvieron buenos resultados incluyendo los valores de propagación de la onda con ultrasonidos.

El extractor de tornillos se puede utilizar con éxito como técnica de diagnóstico predictora de daños bióticos en la madera puesta en obra, ya que es capaz de detectar diferencias en la resistencia al arranque en función del estado de la madera, siempre que los estudios se realicen según la metodología explicada. Es decir, introduciendo el tornillo hasta una profundidad de 28 mm. Además, esta aplicación es muy interesante, sobretodo en aquellos casos en los que la madera no da indicios externos de su estado de degradación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se engloba en un proyecto más amplio financiado por el Ministerio de Fomento en el marco de las Acciones Estratégicas sobre “Mantenimiento y evaluación de estado de obras y edificios” del Área Sectorial “Construcción Civil y Conservación del Patrimonio Histórico Cultural” del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003”.

BIBLIOGRAFÍA

- DIVOS, L.; NEMETH, L.; BEJÓ, L. (1999). Evaluation of the wooden structure of a baroque palace in Papa, Hungary. **Proc. of 11th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, 1999**, pp 153-160.
- ESTEBAN HERRERO, M (2003). **Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera de conífera.** Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- HERMOSO, E; FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.I.; DÍEZ, R. (2002). Madera estructural de pino silvestre: caracterización mecánica. **Revista de Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales. Volumen II (2).**
- HERMOSO PRIETO, E; FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I.; DÍEZ BARRA, M.R. (2003). Evaluación de la clasificación resistente de la madera estructural mediante ultrasonidos. **Actas del 10º Congreso Nacional de Ensayos no Destructivos.**
- SOLTIS, LAWRENCE A. (1999). **Chapter 7 Fastenings. Wood handbook – Wood as an engineering material.** Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- UNE-EN 338:2003. **Madera estructural. Clases resistentes.**
- UNE-EN 56544:2003. **Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.**
- UNE-EN 408:2004. **Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.**

- UNE-EN 384:2004. **Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.**

- WINANDY, JERROLD E.; LEBOW, PATRICIA K.; NELSON, WILLIAM. (1998). Predicting bending strength of fire-retardant-treated plywood from screw-withdrawal tests. **Res. Pap. FPL-RP-568**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory