

## TÉCNICAS DE ENSAYO PSEUDO NO DESTRUCTIVAS EN MADERA ESTRUCTURAL MEDIANTE EXTRACCIÓN DE TORNILLOS.

*TECHNIQUES OF PSEUDO-NON DESTRUCTIVE TESTING ON STRUCTURAL WOOD, BY EXTRACTION OF SCREWS.*

Alfonso Basterra, M. Casado, L. Acuña, O. Pinazo

### Resumen

En el presente trabajo se analiza una técnica de ensayo pseudo 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. Los resultados se relacionan con otros ensayos destructivos y no destructivos, y se estudia su valor como predictor de determinadas propiedades de la madera y de la existencia de daños bióticos no visibles en la superficie de las piezas.

El estudio se realizó sobre 39 viguetas de *Pinus sylvestris* L. 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 pertenecieron 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 desarrollar y poner a punto una metodología de inspección que permita evaluar la capacidad resistente de piezas estructurales de madera puestas en obra, así como su posible estado de degradación.

### Summary

*This article analyzes a non-destructive or pseudo non-destructive test technique based in the registry -- by means of a specific device-- of the strength applied to pull out screws previously screwed up to a certain wood section. The results are compared to other destructive and non-destructive tests, and their value for predicting certain properties of the wood is studied, as well as the existence of invisible biotic damages on the pieces surface.*

*The study was carried out on 39 *Pinus sylvestris* L. beams, with a thickness of 7.5 cm, variable width (17.5, 20.5 and 22.5 cm) and length (from 300 to 500 cm.). These beams formerly belonged to the structure of a singular building in the city of Valladolid (Spain).*

*The main target of the research line, in which this research is included, consists of developing and completing an inspection methodology allowing for testing the resistance capacity of structural timber pieces un use, as well as their degradation condition.*

### 1. Introducción.

En conjunto, la **madera** constituye uno de los materiales más importantes utilizados en la construcción; gracias a ella ha sido posible la ejecución de la mayoría de los edificios de cierta antigüedad que conocemos y hemos heredado multitud de construcciones y edificios que la incluyen en su sistema estructural. Además de los de valor histórico o monumental, el conjunto tiene una indudable importancia y valor patrimonial.

### 1. Introduction

*As a whole, wood constitutes one of the most important materials used in construction. Thanks to it, it has been possible to construct most of the buildings with a certain age that we know now. We have inherited multitude of constructions and buildings that include it in their structural systems. In those with added historic or monumental value, the whole acquires an undoubted importance as heritage value.*

En España, a mediados del siglo XX, la madera llegó a ser legalmente prohibida como material estructural en determinados edificios, lo cual, junto con la competencia de los materiales alternativos, la ha tenido apartada del repertorio de soluciones constructivas convencionales durante muchos años. Ello podría explicar, si no justificar, su ausencia en los planes de estudio de las carreras técnicas y la carencia de normativa básica o de cálculo, recientemente corregida por el Código Técnico de la Edificación.

La aparición de la técnica de la madera laminada está permitiendo el empleo de piezas de canto variable, con cambios de directriz y, sobre todo, de mucho mayor tamaño. También está más avanzado el conocimiento de los procesos de degradación, y su durabilidad natural, especialmente de algunas especies o zonas del tronco, pero generalizada ante algunos agentes, como los cloruros, altamente corrosivos para el acero. Frente a los organismos xilófagos también se dispone de nuevos productos y técnicas capaces de impregnar profundamente las masas leñosas y proporcionarles una durabilidad de la que carecieron en el pasado. Porque de su belleza natural nunca nadie había dudado y todo ello está contribuyendo a una especie de renacimiento del material.

En estructuras construidas, la evaluación de la capacidad resistente de la madera ha sido afrontada 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 una pericia de carácter empírica. Actualmente se dispone de distintos sistemas de diagnóstico, destructivos y no destructivos, más acordes con el método científico.

Este trabajo forma parte de un proyecto más amplio que pretende desarrollar y poner a punto una metodología para el análisis in situ de la capacidad mecánica residual de barras de estructuras de madera antiguas mediante métodos no destructivos y pseudo-destructivos. Se pretende la integración de técnicas de investigación de ámbitos de conocimiento propios de la ingeniería de montes y la mecánica de la madera, por un lado, y de la ingeniería civil y la arquitectura, por otro.

*In Spain, halfway through the 20th century, wood became forbidden as a structural material in certain buildings. This, together with the competition of alternative materials, has caused a distance of timber from the repertory of constructive conventional solutions during many years. This could explain, if not justify, its absence in the study plans of technical careers and the lack of basic standards or of calculation, recently corrected by the Technical Code of Building.*

*The new technique of laminated wood is making the use of pieces of variable borders possible, with variation in the directrix, and also of a much bigger size. The knowledge on degrading processes and its natural durability, especially in some species or zones of the tree trunk, but generalized before certain agents such as chlorides, highly corrosive for steel. Against xylophagous insects several new products and techniques able to impregnate deeply the ligneous masses are now available. These new products give timber a durability it lacked in the past. Of wood natural beauty, nobody has ever doubted, and all of it has meant a kind of new rebirth of the material.*

*In built structures, the evaluation of the enduring capacity of wood has been faced along history, based fundamentally on the visual inspections and rudimentary tests of impact, in an artisan way. Its results were evaluated on the base of skill, in an empiric way. Presently, we can use different systems of diagnosis, destructive and non destructive, closer to the scientific method.*

*This paper is part of a wider project that pretends to develop and update a method for the analysis of the residual mechanical capacity of structural bars in old timber structures by non destructive or slightly destructive means. This pretends the integration of research techniques of fields belonging to Forestry Engineering and at the same time the mechanics of wood and civil engineering and architecture.*

## 2. Estado de la técnica.

Los **ensayos de flexión** pueden ser no destructivos y permiten calcular el módulo de elasticidad de la pieza ensayada. Pero requieren, en general, que la pieza sea retirada de su ubicación habitual para ser montada sobre una máquina universal de ensayos, por lo que resulta de difícil o imposible aplicación en estructuras construidas. La norma de referencia en nuestro país es la UNE-EN 408:2004.

La medición de la **velocidad de propagación de ultrasonidos** a través de la madera es una técnica no destructiva bastante desarrollada en el campo de la ingeniería de montes y sobre la que existen abundantes estudios. Se basa en que la presencia de oquedades, nudos, bolsas de resina o degradaciones internas, hacen que la velocidad de transmisión de las ondas generadas sea diferente de la que se presenta en el material sin defectos. La aplicación de esta técnica tiene la ventaja de que puede ser empleada "in situ" para la evaluación de madera puesta en obra. Aporta información sobre la calidad general de la piezas, aunque su relación con el módulo de rotura es relativa ya que éste suele depender de un defecto local y en la propagación de la onda no influye un defecto por sí solo (Hermoso et al. 2003). No obstante, otros autores (Esteban 2003) han obtenido buenas relaciones entre la velocidad del paso de ultrasonidos en dirección longitudinal y el módulo de elasticidad global. En España, Rodríguez Liñán y Rubio de Hita (2000) han propuesto una metodología concreta para su aplicación en obras de rehabilitación.

El ensayo con **resistógrafo** se basa en la resistencia que la madera opone a la penetración de una broca a velocidad constante, dado que esta resistencia está correlacionada con la densidad (Costello y Quarles, 1999; Gruber, 2000). El equipo mide la resistencia a la penetración de una broca de diámetro entre 1,5 y 3 mm cuyo agujero es tan pequeño que su efecto es inapreciable.

## 2. State of the technique.

*The **flexion tests** can be non destructive and enable the calculation of the elasticity module of the test piece. Nevertheless, they require in general, that the piece is taken from its former location to be placed on a universal test machine, and for this reason it becomes difficult or impossible the application on built structures. The standard of reference in our country being UNE-EN 408:2004.*

*The measuring of the **speed of sound propagation** through wood is a non destructive technique quite developed in the field of agronomic engineering, and on which several studies exist. It is based in the presence of hollows, knots, bags of resins or internal degradations, which make the wave speed of transmission different from the speed present in flawless material. The application of this technique has the advantage of permitting its use on location for the evaluation of woods placed in constructions. It gives information on general quality of the pieces, though its relationship with the fracture module is relative because this usually depends on a local defect and the propagation of the wave does not include a defect on its own. (Hermoso et. Al.2003). Nevertheless, other authors (Esteban 2003) have obtained good ratios between speed of ultrasound in a lengthwise direction and the global elasticity module. In Spain, Rodríguez Liñán and Rubio de Hita (2000) have proposed a concrete method for its use in rehabilitation works.*

*The test with **resistographer** is based on the resistance wood opposes against the penetration of a drill at a constant speed, given this resistance is related to density (Costello and Quarles, 1999; Gruber 2000). The equipment measures the resistance to penetration of a drill with diameters between 1.5 and 3 mm, whose hole is so small that the effect is imperceptible.*

La broca puede penetrar hasta una profundidad de 40 cm a una velocidad constante por lo que se requiere aplicar una cantidad de fuerza variable según la zona que atraviese y son esas variaciones de fuerza a lo largo del tiempo las que se representan en una gráfica. La integral de la curva fuerza-tiempo es la variable indicadora del ensayo.

La resolución del método es tan alta, que se pueden detectar variaciones de densidad incluso entre los anillos de crecimiento. El método es de gran interés para el diagnóstico de estructuras de madera en las zonas de empotramiento que quedan ocultas a la inspección visual y no muestran síntomas de degradación. Hasta ahora es una técnica incipiente y está siendo actualmente experimentada por miembros del grupo de investigación, tanto en laboratorio como en estructuras a pie de obra.

Finalmente, el ensayo basado en el **extractor de tornillos** es otro método pseudo no destructivo que consiste en introducir un tornillo en la pieza que se desea estudiar para posteriormente arrancarlo y medir la máxima fuerza necesaria para lograrlo. Al igual que los anteriores se trata de un método portátil y de fácil implantación en obra, habiendo sido escasamente empleado en España.

Son también escasos los estudios realizados sobre esta técnica a nivel internacional, destacando los de Winandy y otros (1998) que 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 muestran 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 dos extracciones por muestra.

*The drill can penetrate up to a depth of 40 cm at a constant speed. This requires applying a variable quantity of strength depending on the zones it passes through and these variations of strength held in time are represented in a chart. The integral of the strength-time curve is the variable that indicates the test.*

*The resolution of the method is so high, that it can detect variations in density even between growth rings. The method is of great interest for the diagnoses of timber structures in the areas that remain hidden to ocular inspection and do not present symptoms of degradation. It is quite a recent technique and it is being tested at the present time by members of the research group, in laboratory and at the intervention works as well.*

*Finally the test based in the **screw extractor** is another pseudo non-destructive method which consists on introducing a screw in the piece held for study, and later pulling it out, measuring the maximum strength necessary to achieve this. In the same way as the previous one, it is a portable method of simple implantation at work, and it has scarcely been used in Spain.*

*Scarce are also the studies made on this technique at international level, standing out those held by Winandy and others (1998). They developed a method of testing and a model of prediction to estimate the fracture resistance of conglomerate boards that had been treated with fire retardants, all of it done by screw pulling tests. The results very frequently show the resistance determined by just one extraction per sample, and it was 25% larger or smaller than the determined by the arithmetical average of two or more extractions. For this reason, the authors recommend to make at least two extractions per sample.*



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 trabajo. En su estudio combinaron cuatro métodos de diagnóstico: examen visual de la estructura, resistencia al arranque de tornillos, velocidad de propagación de la onda en dirección longitudinal y 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 la siguiente fórmula para predecir el Módulo de Rotura:

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

Donde:

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

$F$  = resistencia al arranque de tornillos (kN)

$v$  = 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.

*In the study "Evaluation of the wooden structure of a Baroque palace in Papa, Hungary" (Divos et al. 1999) the authors used the same screw extractor that the one used in the present paper. In their study, four diagnosis methods were combined: visual inspection of the structure, resistance to screw pulling, lengthwise wave propagation speed and drill sampling. The screws used had a diameter of 4 mm and were introduced in the material to a depth of 18 mm. Later, the screw was pulled out at a speed that went from 0.2 and 0.4 mm/s, registering also the maximum strength used. Using the resistance to wrench of screws and the speed of wave obtained by ultrasound, the authors obtained the following formula to predict the rupture module:*

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

Where:

$MOR_{est}$  = rupture module estimate with the model (MPa)

$F$  = resistance to the wrench of screws (kN)

$v$  = speed of the wave (km/s)

*The manufacturer of the screw extractor (Fakopp Enterprise) asserts that the resistance to wrench of screws is a local parameter, but selecting a representative position in the beam becomes useful information to evaluate a timber structure. In this sense, using wooden samples of 4 x 6 x 80 cm the manufacturer carries out an adjustment between the MOR and the resistance to wrench of screws in which a coefficient of correlation of 0.72 is obtained. Also, an adjustment between the resistance to wrench and the density is made, resulting in this case a coefficient of 0.79.*

### 3. Objetivos.

Los objetivos definidos para este trabajo fueron los siguientes:

1. Desarrollar y poner a punto una metodología no destructiva o pseudo no destructiva predictora de la densidad y detectora de daños bióticos, basada en equipos portátiles, de fácil manejo y, por consiguiente, apta para su empleo en piezas estructurales de madera puestas en obra.
2. Validar experimentalmente los resultados mediante la comparación con otros ensayos destructivos (ensayo de rotura, resistógrafo) y no destructivos (ensayos de flexión, ultrasonidos o extractor de tornillos) realizados en laboratorio.
3. Ampliar la campaña experimental a algunas especies leñosas comunes en el patrimonio construido de nuestro país.

### 4. Material y métodos.

El lote principal de vigas de madera empleado en el presente estudio perteneció a un edificio de viviendas emblemático en la ciudad de Valladolid (figuras 1<sup>a</sup>, 1b y 1c). Tras un detenido diagnóstico previo realizado por los autores de este trabajo, una empresa constructora ha procedido a su rehabilitación integral con conservación mayoritaria de la estructura de madera. Sólo una crujía completa de la planta primera no resultaba compatible con el proyecto arquitectónico y tenía que ser demolida. Tras su traslado al laboratorio de Estructuras de la Universidad de Valladolid, se empleó para validar el diagnóstico previo realizado y para la realización de este estudio. El lote lo componían 42 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.

### 3. Objectives.

*The defined objectives for this paper were:*

1. *To develop and calibrate a non destructive or pseudo non-destructive methodology to detect the density and predict biotic damage based on portable equipment of simple handling. These means would be fit for its use in structural wooden pieces placed at the constructions.*
2. *To experimentally validate the results by comparing them with other destructive tests (rupture test, resistographer) and non destructive (flexion tests, ultrasound or screw puller) performed at laboratory.*
3. *To enlarge the experimental campaign to some ligneous species common in the built patrimony of our country.*

### 4. Material and methods.

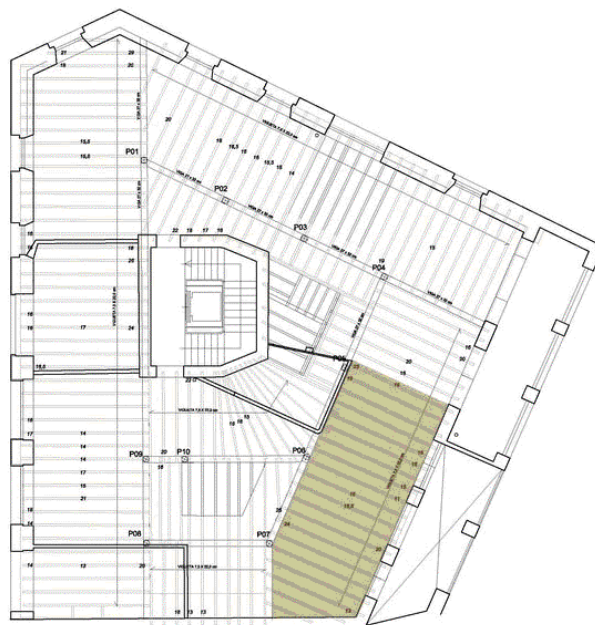
*The main lot of wooden beams employed in the present paper belonged to an emblematic residential building in the city of Valladolid (figures 1a, 1b, 1c). After a careful diagnosis of the building, performed by the authors, a construction company has proceeded to its integral rehabilitation with the almost complete conservation of the timber structure. Only the first floor complete structure was not compatible with the project and had to be demolished. After its removal to the laboratory of Structures of the University of Valladolid, it was used to validate the previous diagnosis and for research purposes. The lot was composed of 42 beams of rectangular section with dimensions 17,5 x 7,5 x 400 cm, 20,5 x 7,5 x 400 cm and 22,5 x 7,5 x 400 cm.*



**Figura 1a. Edificio Mantilla.**  
*Mantilla Building*



**Figura 1b Vigas ensayadas.**  
*Tested beams.*



**Figura 1c. Planta Edificio Mantilla.**  
*Mantilla Building*



Sobre el mencionado lote se realizaron los siguientes ensayos, por este orden:

1. Determinación microscópica de la especie.
2. Ensayos no destructivos con equipo de ultrasonidos.
3. Ensayos en máquina universal.
4. Ensayos pseudos no destructivos mediante el extractor de tornillos.
5. Determinación de la densidad y humedad.

#### 4.1. Determinación microscópica de la especie.

La inspección visual inicial a nivel macroscópico permite conocer distintas características de la madera, como porosidad, tipo de radios, anillos de crecimiento, parénquima, etc. En el caso de algunas frondosas este análisis macroscópico puede aportar información suficiente sobre los elementos anatómicos de la madera para identificar la especie, no así en el caso de las coníferas donde dada la gran semejanza interespecífica es necesario proceder a un análisis microscópico.

Para ello se debe obtener una pequeña probeta cúbica de madera de 15 a 20 mm de lado, para su colocación en el microtomo. En este se realiza un corte limpio sobre la sección transversal del cubo, obteniéndose así unas finas láminas de madera con un grosor que oscila entre las 25 y 50  $\mu\text{m}$ . Tras un proceso de tinción (con safranina) y lavado, dichas láminas se montan sobre un portaobjetos para ser observadas al microscopio (figura 2), lo que permite determinar y caracterizar los distintos elementos. Finalmente, con la ayuda de unas claves se procede a la identificación de la especie (figura 3).

El análisis microscópico puso de manifiesto que de las 42 viguetas que formaban el lote, no todas eran de la misma especie. Treinta y nueve eran de *Pinus sylvestris* L., conocido comercialmente como pino albar, Valsain o Soria, entre otras denominaciones. Las tres restantes eran de pino resinero (*Pinus pinaster* Ait.) y sus datos fueron eliminados de todo el proceso estadístico, ya que se trataba de otra especie y por consiguiente sus resultados no eran comparables.

*On the lot mentioned the following tests were carried out following this order:*

1. *Microscopical determination of the species.*
2. *Non destructive tests with ultrasound equipment.*
3. *Universal machine tests.*
4. *Pseudo non-destructive tests by the screw wrencher.*
5. *Determination of density and humidity.*

#### 4.1 *Microscopical determination of the species.*

*The visual inspection at macroscopical level enabled us to get to know different characteristics of wood, such as porosity, kinds of ratios, growth rings, parenchyma, etc. In the case of some leafy woods this macroscopic analysis can give sufficient information on the anatomical elements of wood to identify the species, although it is not so in the case of coniferous, where due to the great likeness between members of the species it is necessary to proceed to a microscopical test.*

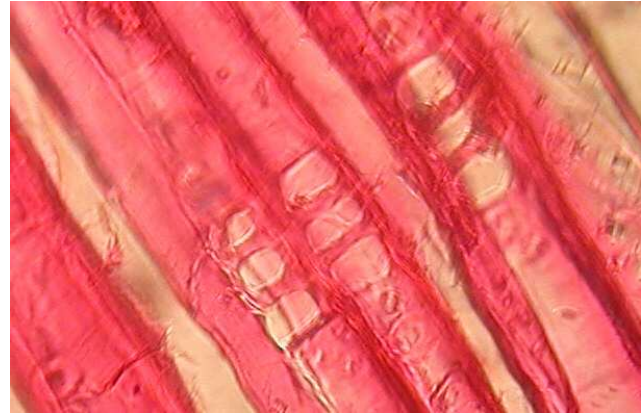
*For this, a small cubic wooden sample of 15 to 20 mm is obtained for its use at the microtome. A clean cut is made over the transversal section of the cube, thus obtaining thin flakes with a thickness that goes from 25 to 50  $\mu\text{m}$ . After a dying process (with safranin) and posterior washing, these flakes are mounted on a slide to be watched with the microscope (figure 2), enabling the characterization of the different elements. Finally, the next step is to proceed to the identification of the species with the help of some keys. (figure 3).*

*The microscopical analysis showed that not all of the 42 beams forming the lot belonged to the same species. Thirty nine were *Pynus sylvestris* L. commercially known as "albar" pine, "Valsain" or "Soria" between other denominations. The other three were "resinero" pine (*Pinus pinaster* Ait) and their data was erased from all the statistic process, because being from different species its results were not comparable.*





**Figura 2. Microscopio**  
*Microscope.*



**Figura 3. Pinus sylvestris L.**

#### **4.2. Determinación de la densidad y contenido de humedad.**

La densidad de la madera 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".

#### **4.3. Ensayos no destructivos con equipo de ultrasonidos.**

Se ha realizado con un aparato marca Sylvatest® (figura 4) y con una frecuencia de 30 khz. 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 ( $\mu$ s) que tarda la onda ultrasónica en llegar de uno al otro.

#### **4.2 Determination of density and water contents.**

*The wood density was determined according to the dispositions of the UNE-EN 408:2004 standard "Wooden structures. Serrated wood and glued laminated for structural use. Determination of some physical and mechanical properties".*

*The humidity was measured with the same samples employed for the density measurements and according to the EN 13.183-1/AC:2004 standard "Contents of humidity an a serrated wooden piece. Part 1: Determination by the method of drying chamber".*

#### **4.2. Non-Destructive tests with ultrasound equipment**

*It was made with an appliance brand Sylvatest® (figure 4) and with a frequency of 30 khz. This appliance uses an ultrasound generator and, with the help of an emitting touching device and a receiving touching device, located at a fixed distance, measures the time ( $\mu$ s) that an ultrasound wave takes from one place to the other.*

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 Dinámico, ya que este está relacionado con la densidad y la velocidad de la onda según la ecuación:

$$v = \frac{L}{t} \quad \text{MOE} = v^2 \cdot \rho$$

Donde:

$v$  = 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<sup>2</sup>).

$\rho$  = Densidad de la viga ensayada (kg/m<sup>3</sup>).

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 (figura. 5). Este método es útil –y en ocasiones el único posible– para tomar medidas en piezas de madera que están puestas en obra, donde las testas no suelen ser accesibles. Se realizaron dos mediciones indirectas: de cara a cara opuesta, y cruzada entre canto superior e inferior, normalmente el visto en obra.

#### 4.4. 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 6.

*Regarding this information and other data, such as species (density), the length of the piece and its geometry (square or cylindrical section) the Dynamic Elastic Module can be calculated, It is related to density and speed of the wave according to the equation:*

$$v = \frac{L}{t} \quad \text{MOE} = v^2 \cdot \rho$$

*Where:*

*$v$  = Speed of lengthwise propagation of ultrasound waves through wood (m/s)*

*$L$  = Distance between touching devices or length of the sample (m)*

*$t$  = Time it takes for the receiving touching device to receive the wave sent by the emitting touching device (s)*

*MOE = Dynamic Elasticity Module (N/mm<sup>2</sup>)*

*$\rho$  = Density of the tested beam (kg/m<sup>3</sup>).*

*In each piece two direct measures were collected, for which the testers were placed face to face. That is, in such a way that the ultrasound wave will propagate in parallel to the lengthwise axis head to head. Also the indirect method was used, in which the devices are introduced forming an angle of 45° between the lengthwise axis of the piece and the surface of the faces or of the lower edge (figure 5). This method is useful -and sometimes the only one possible- to take measures in placed pieces, where the heads are not usually accessible. Two indirect measures were made, face to face, and crossed between the lower and upper edges.*

#### 4.4 Tests in the universal appliance.

*The tests to flexion were performed according to the UNE-EN 408:2004 “Wooden Structures. Serrated wood, and laminated glued wood for structural use. Determination of some physical and mechanical properties”. For this a universal test device was used, with 100 KN of capacity. For the determination of the global elasticity module to flexion (MOEGTO) the device was placed as indicated in figure 6.*



Figura 4. Equipo de ultrasonidos Sylvatest.  
. Sylvatest ultrasound appliance.



Figura 5. Método indirecto (palpador en la cara con inclinación de 45°).  
Indirect Method (touching device in the face with 45° tilt)

Las variables de funcionamiento de la máquina y la velocidad del ensayo se seleccionaron dependiendo del canto de la pieza, según la norma indicada anteriormente. Una vez anotada la carga y la deformación del canto se retiró el palpador y el ensayo se continuó hasta la rotura, anotándose entonces el “módulo de rotura” o la resistencia a la rotura MOR (figura 7).

The working variables of the appliance and the speed of the test were selected depending on the edge of the piece, according to the previously named standard. Once the load and deformation were observed, the tester was retired and the test was continued up to the fracture, noting the “breaking module” or the resistance to breaking MOR (figure 7).

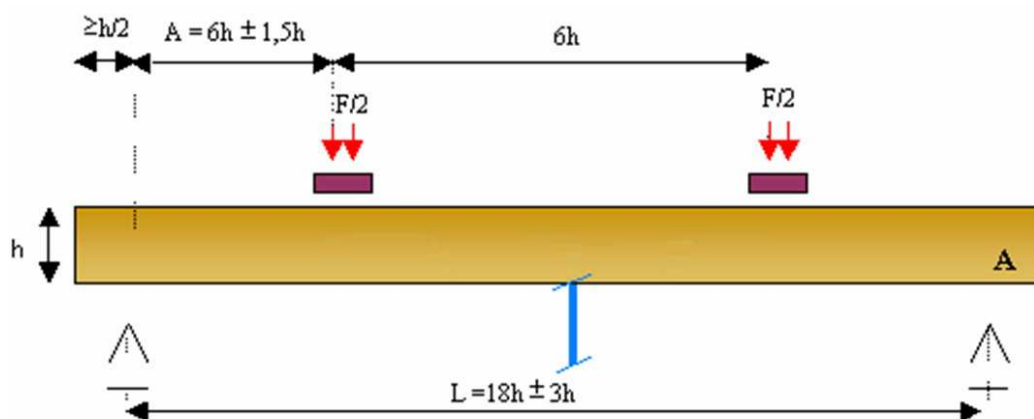


Figura 6. Esquema del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad global de canto a flexión (MOEGTO).  
Scheme of the test for the determination of the global elasticity module of edge to flexion.(MOEGTO)





**Figura 7. Rotura a flexión de una de las viguetas ensayadas.**  
*Rupture to flexion of one of the tested beams.*

#### 4.5. 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 que debe introducirse.
- Definición de las zonas donde se deben realizar las mediciones.
- Número de extracciones que deben hacerse por muestra.

Se optó, en primer lugar, por el diámetro de 4 mm (figura 9) 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 inconvenientes, entre los cuales el más importante era la mayor fuerza necesaria y las dificultades consiguientes de aplicación en obra. Además implicaba llegar en ciertos casos cerca de la fuerza límite de servicio del aparato.

#### 4.4 Non destructive tests by screw extractor

*The parameters that take place in the resistance to wrench of screws are varied. Therefore, before making the measurements, some previous aspects had to be decided, such as:*

- *Diameter of the used screw*
- *Length up to which it should be introduced.*
- *Definition of the places where measurements should be taken.*
- *Number of extractions that should be made by sample.*

*Firstly a diameter of 4 mm was chosen (figure 9) because, apart from it having been used in a similar work (Divos et al. 1999) and being clearly recommended by the manufacturer, the one of 5 mm presented a series of inconvenients such as the greater strength needed and the consequent difficulties of appliance for the job. Also, it implied arriving in certain cases close to the limits of the strength of the appliance.*



Por otro lado, los tornillos de 3 mm son recomendables para su uso en frondosas, más densas y, por lo tanto, con mayor resistencia al arranque.

En relación a la longitud del tornillo, la zona activa venía definida por el modo en que habían sido modificados los suministrados por el fabricante y la decisión afectaba sólo a 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.



**Figura 8. Extractor de tornillos.**  
*Screw Extractor.*

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 (figura 10). Esta decisión se basa en que resultan ser las zonas más accesibles de las viguetas cuando éstas están puestas en obra, apuntando a una mayor representatividad de los resultados. Se descartaron aquellos puntos con influencia de nudos, fendas u otras singularidades que pudieran afectar en los resultados. Para determinar el número de extracciones se tuvo en cuenta el trabajo ya citado de Winady (1998), estableciendo un total de 9 extracciones por vigueta.

*On the other hand, the 3 mm screws are recommended for their use in leafy, denser species, and therefore with a greater resistance to wrench.*

*In relation to the length of the screw, the active zone comes defined by the way in which the ones supplied by the manufacturer had been modified and the decision affected only the depth of insertion. In this case, it was decided to introduce the lower part and half of the screw, leaving just the upper part to the exterior. In this way, the resistance to wrench was made by the fibres placed at a depth within 20 and 38 mm.*

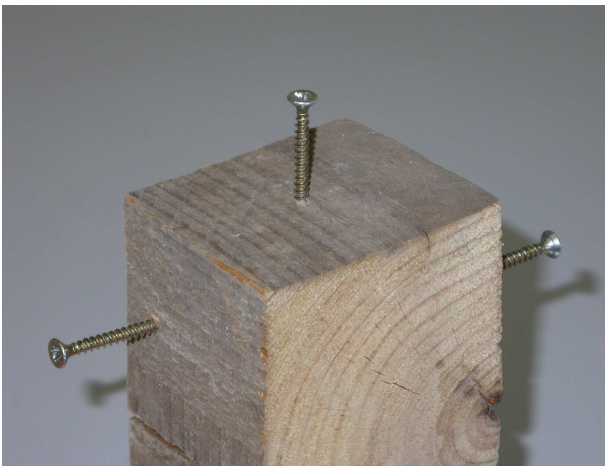


**Figura 9. Tornillos de 3, 4 y 5 mm.**  
*3,4 and 5 mm screws.*

*The zones chosen to make the tests were: the lower edge of each sample (zone presenting traction), as well as the lower edge of each one of their faces (figura 10). This decision was based on the result of the most accessible zones of the beams when placed on site, aiming to a higher representativity of the results. The areas with knots, splits or other singularities that did not affect the results were omitted. To determine the number of extractions Winandy's statement was taken into account, establishing a total of 9 extractions for each beam.*

En cuanto a la realización del ensayo, una vez sujeta firmemente la probeta con unas sargentas (figura 8), para evitar cualquier vibración y movimiento, se introdujeron los tornillos sin pretaladro hasta los 38 mm y se colocó 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. Cuando el dispositivo de sujeción entraba en contacto con la cabeza del tornillo comenzaba a registrar la fuerza aplicada, fijando la fuerza máxima registrada en el momento de la rotura de las fibras y arranque del tornillo como dato resultante del ensayo.

Una vez realizadas todas las extracciones, se aserró la probeta siguiendo las hileras donde se realizaron los arranques (figura 11), lo que permitió explicar mejor los resultados obtenidos. Así, se comprobó que los valores anormalmente elevados se correspondían con zonas cercanas a nudos ocultos o zonas donde la fibra aparecía desviada. De ahí la importancia de elegir zonas lo más libre posible de defectos.



**Figura 10. Vista de las zonas elegidas para realizar los arranques.**

*Location of the chosen zones to make the wrenches.*

*In relation to the completion of the test, once the sample firmly held with sergeants halberds (figure 8), to avoid any movement or vibration, the screws were introduced without drilling, first up to the 38 mm and the extractor was placed following the instructions of the manufacturer. The speed of rotation of the spindle in a clockwise sense was fixed at a half a turn every 3 or 4 seconds. When the artefact of grasp came into contact with the head of the screw and started to register the applied strength, determining the maximum strength at the moment of rupture of the fibres and wrench of the screw as a result of the test.*

*Once all the extractions were completed the sample was serrated following the rows where the wrenches were made (figure 11). This permitted to explain better the obtained results. Thus, it could be proved that the unusually elevated data corresponded to the zones near the knots or places where the fibres appeared deviated. This is why it is important to choose areas as free of imperfections as possible.*



**Figura 11. Corte de la probeta con los agujeros de los tornillos alcanzando un nudo oculto y fibra desviada.**

*Section of the sample with the screw drills arriving to a hidden knot and deviated fibre.*

## 5. Resultados y discusión.

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

## 5. Results and discussion.

A chart is shown with the variables used to make a descriptive statistic<sup>1</sup> (Chart 1).

Tabla 1. Cuadro resumen de las variables consideradas.

VARIABLE	Nº de muestras	Valor característico	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Vel. propagación método directo (testa a testa)	39	-	<b>5.119 m/s</b>	413 m/s	8,07%
Vel. propagación método indirecto (cara a cara)	39	-	<b>4.396 m/s</b>	981 m/s	22,31%
Vel. propagación método indirecto (canto a canto)	39	-	<b>4.449 m/s</b>	848 m/s	19,05%
Módulo de elasticidad global de canto (MOEGTO) a flexión	35	10.122 N/mm <sup>2</sup>	<b>10.122 N/mm<sup>2</sup></b>	2.190 N/mm <sup>2</sup>	20,75%
Resistencia a la flexión estática (MORC)	35	11,37 N/mm <sup>2</sup>	<b>31,84 N/mm<sup>2</sup></b>	12,78 N/mm <sup>2</sup>	40,15%
Humedad	39	-	<b>10,21%</b>	0,68%	6,65%
Densidad	39	415 kg/m <sup>3</sup>	<b>491 kg/m<sup>3</sup></b>	46 kg/m <sup>3</sup>	9,30%
Número de anillos en 5 cm	39	-	<b>36</b>	16,35	45,37%
Espesor máximo de los anillos	39	-	<b>3,05 mm</b>	1,30 mm	42,54%
Resistencia media al arranque	39	-	<b>2,33 kN</b>	0,40 kN	14,57%
Resistencia media al arranque en el canto	39	-	<b>2,27 kN</b>	0,34 kN	14,88%
Resistencia media al arranque en la cara delantera	39	-	<b>2,35 kN</b>	0,36 kN	15,47%
Resistencia media al arranque en la cara trasera	39	-	<b>2,37 kN</b>	0,39 kN	16,41%

Chart 1. Synthetic Chart with the considered variables.

VARIABLE	Nº of samples	Characteristic value	Ratio	Standard deviation	variation coefficient
Speed of variation, direct method (head to head)	39	-	<b>5,119 m/s</b>	413 m/s	8.07%
Speed of variation, indirect method (face to face)	39	-	<b>4,396 m/s</b>	981 m/s	22.31%
Speed of variation, indirect method (edge to edge)	39	-	<b>4,449 m/s</b>	848 m/s	19.05%
Global Edge Elasticity Moduled (MOEGTO) to flexion	35	10.122 N/mm <sup>2</sup>	<b>10,122 N/mm<sup>2</sup></b>	2.190 N/mm <sup>2</sup>	2.75%
Resistance to static flexion (MORC)	35	11.37 N/mm <sup>2</sup>	<b>31.84 N/mm<sup>2</sup></b>	12.78 N/mm <sup>2</sup>	40.15%
Humidity	39	-	<b>10.21%</b>	0.68%	6.65%
Density	39	415 kg/m <sup>3</sup>	<b>491 kg/m<sup>3</sup></b>	46 kg/m <sup>3</sup>	9.30%
Number of rings in 5cm	39	-	<b>36</b>	16,35	45.37%
Maximum thickness of the rings	39	-	<b>3.05 mm</b>	1.30 mm	42.54%
Average resistance to wrench	39	-	<b>2.33 kN</b>	0.40 kN	14.57%
Average resistance to wrench at the edge	39	-	<b>2.27 kN</b>	0.34 kN	14.88%
Average resistance to wrench at the front face	39	-	<b>2.35 kN</b>	0.36 kN	15.47%
Average resistance to wrench at the rear face	39	-	<b>2.37 kN</b>	0.39 kN	16.41%

<sup>1</sup> El tratamiento de los datos se ha realizado con el programa estadístico STATGRAPHICS PLUS v 5.1.



El valor de la densidad característica obtenida ( $415 \text{ kg/m}^3$ ) situaría a las viguetas del lote estudiado en una clase C35. Por su parte el módulo de elasticidad ( $10.122 \text{ N/mm}^2$ ) apuntaría a una clase C20, coincidiendo con los resultados de Hermoso (2002 y 2003) para pino silvestre. Sin embargo, el valor característico de la resistencia a la flexión ( $11,37 \text{ N/mm}^2$ ) es muy inferior a los que aparecen en la citada norma, de modo que ni siquiera es comparable con el de la peor clase resistente. Debe tenerse en cuenta que se trataba de madera puesta en obra, trasladada al laboratorio tras su desmonte. No puede descartarse que durante estos procesos alguna pieza haya podido sufrir algún tipo de daño no detectado o que durante los propios ensayos existiera alguna anomalía, pues se dieron tres valores anormalmente bajos que, junto con el tamaño limitado de la muestra, penalizan mucho el valor característico, correspondiente al 5% percentil.

Así pues, no resulta posible, en este caso, la asignación directa de una clase resistente de las recogidas en la norma UNE-EN 338:2003 al lote estudiado, dado que aquella varía en función del valor característico considerado.

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 primero arroja valores similares a los obtenidos por otros autores para la misma especie.

En la madera analizada los resultados del número de anillos en 5 cm y su espesor máximo 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.

*The value of the characteristic density obtained, ( $415 \text{ kg/m}^3$ ) would place beams of the lot studied in a C35 class. On its side the elasticity module ( $10.122 \text{ N/mm}^2$ ) would point to a C20 class, coincident with the results of Hermoso (2002 and 2003) for wild pine. Nevertheless the characteristic value of the resistance to flexion ( $11.37 \text{ N/mm}^2$ ) is much lower to those that appear in the named standard, in this way it cannot be compared to that of the least resistant. It should be noticed that the wood placed in job was carried to the lab after its removal. It should not be discarded that during this process some pieces could have suffered a non detected damage or as a result, during the tests an abnormality could exist. As can be seen, the result of three was irregularly low, and this together with the limited size of the sample highly, penalizes the characteristic value, corresponding to the 5%.*

*Therefore, it does not seem possible in this case, to directly assign a resisting class of the ones collected in the standard UNE-EN 338:2003 to the studied lot, since that one varies in proportion to the considered characteristic value.*

*The propagation speed of the ultrasound wave is higher when calculated by the direct method than when this task is performed by any of the other two indirect ways presenting similar values. The first one shows similar values than those obtained by other authors for the same species.*

*In the analysed wood the results of the number of rings in 5 cm and their maximum thickness remains within the specifications of the standard UNE-EN 56544:2003 which establishes for wild pine with first class structural quality (ME1). But the relations with the strength of the extractor and the resistance to flexion are not statistically significant. Also, these parameters have shown not to be useful to characterize wood.*



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.

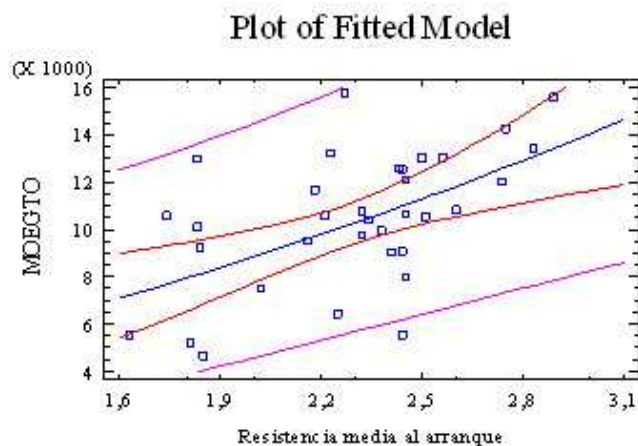
El MOEGTO presenta una relación estadísticamente significativa con la fuerza media del extractor por vigueta (figura 12), pero el bajo coeficiente de determinación logrado en el ajuste impide utilizar la ecuación obtenida para estimar el módulo de elasticidad a partir de la fuerza de arranque por sí sola. El coeficiente de correlación ( $r$ ) obtenido en este caso es de 0,54, mientras que el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) resulta ser de 0,29.

Debe tenerse en cuenta que la fuerza de arranque es un parámetro que se mide puntualmente, mientras que el MOEGTO es un atributo global de la viga, de modo que en el caso de piezas heterogéneas (como las vigas de madera) los valores de fuerza de arranque parecen no ser representativos de su comportamiento elástico global.

*In relation to the results of screw wrenching, it is important to highlight that significant differences are not appreciated when performing the tests on the edge or on the face. On the other hand, the content of water does not interfere on the average force needed to pull the screw for the intervals of humidity considered in the present study, that is, between 8.5% and the 12.5%, range of values. At the same time, this is frequent for wood placed at work.*

*The MOEGTO presents a statistically significant proportion with the average strength of extraction per beam (figure 12). But the low determination coefficient achieved in the adjustment prevents the use of the obtained equation to estimate the module of elasticity from the strength of wrench by itself. The correlation coefficient ( $r$ ) obtained in this case is of 0.54, while the determination coefficient ( $r^2$ ) results in 0,29.*

*It must be taken into account that the strength of wrench is a parameter that is measured punctually, while the MOEGTO is a global attribute of the beam, in a way that in the case of heterogeneous pieces (like wooden beams) the values of the strength of wrench seem not to be representative of its global elastic behaviour.*



**Figura 12. Representación gráfica del MOEGTO ( $N/mm^2$ ) frente a la resistencia media al arranque (kN).**  
*Graphic representation of the MOEGTO ( $N/mm^2$ ) compared to the average resistance to wrench (kN).*

Por su parte el MORC y la fuerza media de arranque obtenida en cada vigueta no muestran una relación estadísticamente significativa. Sin embargo, siguiendo el trabajo mencionado (Divos 1999) realizado sobre probetas de tamaño mediano-pequeño se ha intentado establecer una relación entre el MORC y una variable conjunta formada por la resistencia al arranque y la velocidad de propagación de ultrasonidos, ya que se trata de dos variables independientes. 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 igualmente 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 de ultrasonidos en el tipo de viguetas empleadas.

Se ha constatado, sin embargo, que sí que existe una relación estadísticamente significativa –con un grado de confianza del 95%– entre la densidad media de las viguetas y la fuerza media de arranque obtenida en cada una de ellas. La ecuación del modelo ajustado, es la siguiente:

$$\text{Densidad (g/cm}^3\text{)} = \frac{1}{0,93 + \frac{2,47}{\text{Fuerza canto (kN)}}$$

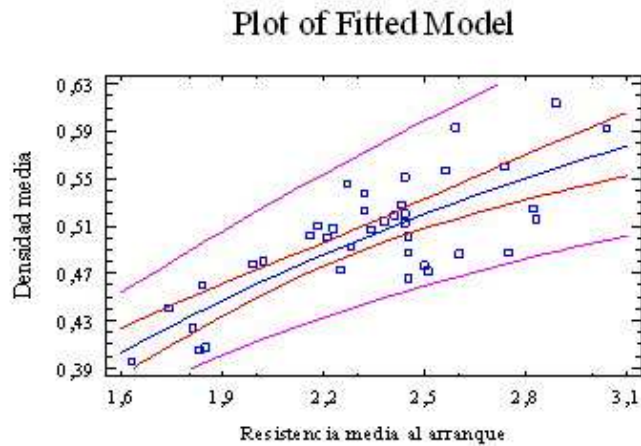
El coeficiente de correlación obtenido ( $r$ ) es de 0,81, mientras que el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) resulta ser de 0,65. El  $p$ -valor de la tabla Anova (0,0000) indica que la relación entre las variables es estadísticamente significativa con un grado de confianza del 99%.

*The MORC and the average speed of wrench obtained on each beam do not show a statistically significant relation. Nevertheless, following the mentioned paper (Divos 1999) where tests were carried out on middle-small size samples, a relationship has been established between the MORC and a common variable formed by the resistance to wrench and the speed of propagation of ultrasound, being these two independent variables. In spite of having achieved a statistically significant proportion with a degree of confidence of 95%, the coefficient of determination obtained in the adjustment was equally low. Therefore, the equation associated to such model cannot be used to estimate the MORC from the resistance to wrench and the speed of propagation of ultrasound in the kind of beams used.*

*Nevertheless, it has been proved, that, if a statistically significant relationship exists –with a degree of confidence of 99%– between the average density of the beams and the average strength of wrench obtained in each one of them, the equation of the adjusted model is the following:*

$$\text{Density (g/cm}^3\text{)} = \frac{1}{0,93 + \frac{2,47}{\text{edge\_strength (kN)}}$$

*The obtained coefficient of correlation ( $r$ ) is 0.81, while the determination coefficient ( $r^2$ ) becomes 0.65. The  $p$ -value of the Anova chart (0.0000) indicates that the relationship between the variables is statistically significant, with a degree of confidence of 99%.*



**Figura 13. Representación gráfica de la densidad media ( $\text{g/cm}^3$ ) frente a la resistencia media al arranque (kN).**  
*Graphic representation of the average density ( $\text{g/cm}^3$ ) compared to the average wrench resistance(kN).*

Además, se ha comprobado que la fuerza media de arranque calculada en el canto presenta la mejor relación con la densidad media a la vez que permitirá una mayor facilidad y agilidad en la realización de los trabajos en obras construidas, evitando un deterioro innecesario de los elementos analizados.

Finalmente se realizó un ensayo para analizar la utilidad del extractor de tornillos como método de diagnóstico de daños internos en la 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 resultado estadísticos, como era de esperar, 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.

*Also, it has been proved that the average strength of wrench calculated at the edge presents a greater relation with the average density. At the same time, it will permit a greater ease and speed for the job in finished works, avoiding an unnecessary decay of the finished elements.*

*Finally, a test was performed to analyze the usefulness of the screw extractor as a diagnosis method of inner damages of wood placed on site. For this, a beam with cerambycid beetle attacks and healthy zones was selected, and an exterior puncture sampling was designed. The statistic results, as expected, showed that there were significant differences between the strength values obtained with the test. The associated strength with a healthy wood is in average, an 85% higher than that obtained from an attacked wood.*

Tabla 2. Tabla ANOVA correspondiente a la resistencia al arranque (kN) frente al estado de la madera

Análisis de varianza – Resistencia vs. Estado de la madera					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Coefficiente F	P valor
Entre grupos	49,516	1	49,5163	203,07	0,0000
Dentro de grupos	39,308	153	0,2438		

Chart 2. Chart ANOVA corresponding to the resistance to wrench (kN) opposed to the state of the wood.

Analysis of variation – Resistance vs. state of wood					
Source of variation	Total of the squares	Degrees of freedom	Average Square	F Coefficient	P value
Between groups	49,516	1	49,5163	203,07	0,0000
Inside Groups	39,308	153	0,2438		

Los resultados obtenidos se explican por el hecho de que cuando el tornillo se introduce en una zona atacada (figura 14) 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. Por el contrario, cuando la madera está sana (figura 15) la lectura es mucho mayor.

The results obtained are explained by the fact that when the screw is introduced in an attacked zone (figure 14) the resistance to wrench is shown in damaged, or in some cases (such as in the galleries) in places with inexistent fibres present, in a such a way that the section that offers resistance is reduced, and the records obtained are for this reason, smaller. In contrast, when the wood is healthy, the records are much greater (figure 15).



**Figura 14. Tornillo en zona atacada (lectura de 1,25 kN).**

*Screw in an attacked zone (reading of 1.25 kN).*



**Figura 15. Tornillo en zona sana (lectura de 2,62 kN).**

*Screw in healthy zone (reading of 2.62 kN).*



## 6. Conclusiones.

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 presenta externamente indicios de degradación.

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, al menos por sí solo, 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. Este resultado es contradictorio con los obtenidos por Divos (1999) lo que se explica porque los especímenes empleados en tal ensayo eran de pequeño tamaño en relación con el de las viguetas utilizadas en este estudio, pertenecientes a un edificio construido.

Aunque no haya sido posible, de momento, establecer un modelo de predicción ajustado para estimar la clase resistente de vigas de tamaño comercial a partir de la fuerza de arranque de tornillos, la obtención de relaciones estadísticamente significativas entre aquella y la densidad permitirá su estimación en obras construidas mediante métodos pseudos no destructivos. Conocida la densidad de la madera, este valor podrá utilizarse como predictor de otras características o como base para el cálculo del Modulo de Elasticidad Dinámico en otro de los ensayos no destructivos como es el de la propagación de ultrasonidos.

## 6. Conclusions.

*The screw extractor can be used successfully as a predictive technique of biotic damage in wood placed on site, because it is capable of detecting differences in the resistance to wrench responding to the state of the wood, as long as the studies are made according to the explained methodology. In other words, introducing the screw to a depth of 28 mm. In addition, this application is very interesting, especially in those cases in which the wood does not present external signs of degradation.*

*The screw extractor is a good predictor of the density of the wood and does not show the influence of the moisture content in it, for a range of humidity found between 8.5 and 12.5 %.*

*Up to now the analyzed results indicate that the screw extractor is not appropriate for estimating, at least by itself, the elasticity module of the wood or the resistance to flexion. Nor were good results obtained with the inclusion of the ultrasound wave propagation values. This result is contradictory with the results obtained by Divos (1999). This is explained because the specimens used in this test were of a small size in relation with that of the beams used in this study, belonging to a finished building.*

*Though it has not been possible, up to now to establish a predictive adjusted model to estimate the resistance of beams of commercial size by the strength to wrench of screws, the statistically significant relationships obtained between this and the density will permit its estimation in finished buildings by pseudo non destructive buildings. Known the density of wood, this value can be used as a predictor of other characteristics or as a base for the calculus of the Dynamic Elasticity Module in other non destructive tests such as the one of ultrasound propagation.*

A la vista de ello, nuestro grupo está investigando actualmente sobre la existencia de relaciones significativas entre la fuerza de arranque y la densidad de otras especies de madera comunes en el patrimonio construido de nuestro país, que esperamos poder divulgar en un futuro inmediato.

*As a consequence, our research team is presently investigating the existence of significant relations between the strength to wrench and the density of other species of common wood used in the built patrimony of our country. Possibly, we will be able to publish about this in the near future.*

## 7. 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".

## 7. Acknowledgements.

*This paper is enclosed in a wider project financed by the Ministry of Public Works in the frame of the Strategic Actions on "Maintenance and evaluation of the state of buildings and Works" of the Sectorial Area "Civil Construction and Conservation of Historic Cultural Patrimony" of the National Plan of Scientific Investigation, Development and Technological Innovation 2000-2003".*

## BIBLIOGRAFÍA - BIBLIOGRAPHY

- COSTELLO, L.R., QUARLES S.L. (1999). Detection of wood decay in blue gum and elm: An evaluation of the Resistograph and the portable drill. *J. Arboric.* 25(6): 311-317.
- DIVOS, L.; NEMETH, L.; BEJÓ, L. (1999). Evaluation of the wooden structure of a baroque palace in Papa, Hungary. *Proc. of 11<sup>th</sup> International Symposium on Nondestructive Testing of Wood*, 1999, pp 153-160.
- 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 10<sup>o</sup> Congreso Nacional de Ensayos no Destructivos*.
- RODRÍGUEZ LIÑÁN, C. Y RUBIO DE HITTA, P. (2000) Evaluación del estado de la madera, en obras de rehabilitación, mediante técnicas de ultrasonidos. Universidad de Sevilla.
- 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, J.E.; LEBOW, P.K.; NELSON, W. (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.

---

**Alfonso Bastera** es Dr. Arquitecto, Profesor del Dptº de Construcciones Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid.

**M<sup>a</sup> Milagrosa Casado**, Dr. Ingeniero de Montes, **Luis Acuña**, Dr. Ingeniero de Montes y **Oscar Pinazo**, Ingeniero de Montes, son Profesores del Dptº de Ing. Agrícola y Forestal de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Valladolid.