

## Clasificación visual estructural de la madera de pino radiata procedente de Cataluña

### Joaquín Montón

Arquitecto Técnico  
EPSEB-UPC, Barcelona, España  
joaquin.monton@upc.edu



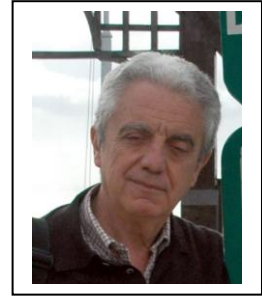
### Francisco Arriaga

Dr. Arquitecto,  
ETSI Montes, UPM, Madrid, España  
francisco.arriaga@upm.es



### Jaume Avellaneda

Dr. Arquitecto  
ETSAV-UPC, Barcelona, España  
jaume.avellaneda@upc.edu



### Guillermo Íñiguez-González

Dr. Ingeniero de Montes  
ETSI Montes, UPM, Madrid, España  
guillermo.iniguez@upm.es



### Jordi Farràs

Ingeniero de Edificación  
EPSEB-UPC, Barcelona, España  
jordifarrasp@gmail.com



### Rubén Plensa

Ingeniero de Edificación  
EPSEB-UPC, Barcelona, España  
rubenplensa@hotmail.com



**Palabras clave** - Clasificación visual, pino radiata, alabeo, rendimiento, propiedades mecánicas

**Keywords** – Visual grading, radiata pine, twist, grading outcome, mechanical properties

### RESUMEN

Se han clasificado visualmente, según la norma española UNE 56544; 150 piezas de madera aserrada de pino radiata procedentes de Cataluña (España) con una sección de 80x150 mm y una longitud de 2.500 mm. Esta norma establece dos calidades visuales (ME-1 y ME-2) para piezas con grueso menor o igual que 70 mm y una única calidad visual (MEG) para gruesos mayores de 70 mm. Con el fin de conocer el efecto frontera entre la pequeña y la gran escuadría se clasificaron las piezas según ambas categorías. Se determinó la tensión de rotura en flexión, el módulo de elasticidad en flexión y la densidad de cada pieza mediante el ensayo de acuerdo con la norma UNE-EN 408 siguiendo los ajustes definidos en la norma UNE-EN 384.

Un 53 % de las piezas se clasificaron como MEG con una resistencia característica a flexión de 28 N/mm<sup>2</sup> y un valor medio del módulo de elasticidad de 9.900 N/mm<sup>2</sup>. Por otra, un 42 % de las piezas se clasificaron como ME-2 y sólo un 3 % como ME-1; en este caso las propiedades mecánicas de la calidad ME-2 no se alejan mucho de las de la calidad MEG.

El elevado porcentaje de piezas rechazadas (47 % frente a la MEG) se debe principalmente al defecto de alabeo responsable de un 39 % de rechazo. Si no se considera el alabeo en la clasificación el porcentaje de rechazo desciende al 17 % y las propiedades mecánicas de la

calidad MEG presentan un valor característico de resistencia a flexión de 21 N/mm<sup>2</sup> y un módulo de elasticidad de 9.100 N/mm<sup>2</sup>.

## ABSTRACT

A sample of 150 pieces of radiata pine sawn timber with 180x120 mm in cross-section and 2.500 mm in length sourcing from Catalonia (Spain) were visually graded according to Spanish standard UNE 56544. This standard establish two visual grades (ME-1 and ME-2) for timber pieces with thickness equal or less than 70 mm, and one grade (MEG) for thickness bigger than 70 mm. In order to know the border effect between small and larger cross-section the pieces were graded in both categories. The modulus of rupture, modulus of elasticity and density were obtained by test according to EN 408 standard and the adjustments of EN 384.

A 53 % of pieces were classified as MEG with a characteristic bending strength of 28 N/mm<sup>2</sup> and a mean value of MOE of 9.900 N/mm<sup>2</sup>. On the other hand, a 42 % of pieces were classified as ME-2 and only a 3 % as ME-1; in this case the mechanical properties of ME-2 are not far from MEG properties.

The high percentage of rejected pieces (47 % vs MEG) is mainly due to the twist defect with a 39 % of rejected pieces. If twist is not considered in the grading process the reject percentage decreases to 17 % and the mechanical properties of MEG grade present a characteristic value of bending strength of 21 N/mm<sup>2</sup> and a MOE of 9.100 N/mm<sup>2</sup>.

## 1. Introducción

La madera aserrada debe ser clasificada previamente a su empleo como material estructural. Para este fin se han desarrollado normas de clasificación en todos los países y gran parte de la investigación se ha destinado a la clasificación y métodos de evaluación de la calidad de la madera aserrada.

El método de clasificación visual de la madera se basa en la medición de las singularidades y características presentes en las piezas de madera, tales como el tamaño de los nudos, la desviación de la fibra, la presencia de la médula, bolsas de resina y entrecasco, fendas, deformaciones, etc. La norma establece unos límites para los defectos anteriores que definen las diferentes calidades visuales. A su vez, cada calidad visual tiene su equivalencia en términos de propiedades físicas y mecánicas en la norma UNE-EN 1912.

La norma UNE 56544:2007 recoge las reglas de clasificación visual vigentes en España para la madera aserrada de coníferas para estructuras. Incluye, entre otras especies el pino radiata. En esta última versión define una calidad específica para piezas de gruesa escuadría denominada MEG (Madera Estructural de Gruesa Escuadría), aplicada a piezas con grosores mayores a 70 mm. Las piezas con grueso menor se clasifican en dos calidades: ME-1 y ME-2.

Esta norma es el resultado de varios estudios de investigación (Martínez 1992, Hermoso 2001, Conde 2003, Íñiguez 2007). Los ensayos se realizaron de acuerdo con las normas UNE-EN 408:2004 y UNE-EN 384:2004, y los resultados han sido validados por el comité técnico CEN TC 124 para su inserción en la norma UNE-EN 1912:2010.

El objetivo principal de esta comunicación es la determinación del rendimiento de la clasificación de la norma UNE 56544 en su versión del 2007, para una muestra de madera de pino radiata procedente de Cataluña, así como el análisis del efecto frontera de esta muestra entre la madera considerada como pequeña o gruesa escuadría.

## 2. Material ensayado

Se han ensayado un total de 150 piezas de madera aserrada de gran escuadría de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) de 80x120 mm y con una longitud media de 2,53 m, procedentes de la zona del Montseny en Cataluña, figura 1. Las piezas se suministraron secadas en cámara.



*Figura 1. Material a ensayar.*

### **3. Metodología**

#### **3.1. Contenido de humedad**

El contenido de humedad de las piezas se ha determinado de acuerdo con el procedimiento de la norma UNE-EN 408 mediante el secado en estufa de una rebanada de la sección completa siguiendo la norma UNE-EN 13183-1. El contenido medio de humedad de las piezas es del 10,7 % (mínimo 10,0 %, máximo 14,2 %).

#### **3.2. Densidad**

La densidad se ha determinado de acuerdo con el procedimiento de la norma UNE-EN 408 a partir de la masa y el volumen de una rebanada de la sección completa de la pieza. El valor obtenido se corrige para una humedad de referencia del 12% de acuerdo con lo que establece la norma UNE-EN 384:2010. El valor medio de las piezas es de  $501 \text{ kg/m}^3$  (mínimo  $380 \text{ kg/m}^3$ , máximo  $675 \text{ kg/m}^3$ ).

#### **3.3. Clasificación visual**

La clasificación visual de las 150 piezas se realizó de acuerdo con la norma UNE 56544:2007 que establece un sistema de clasificación visual para las principales especies de coníferas españolas usadas en estructuras, figura 2.

Como las piezas son de gran escuadría (espesor  $b > 70 \text{ mm}$ ) la norma establece una única calidad Visual (MEG) o rechazo. Dado que el espesor de las piezas tiene una dimensión,  $b = 80 \text{ mm}$ , muy próxima a la frontera de la pequeña escuadría se realizó una segunda clasificación como si se tratasen de vigas de pequeña escuadría (ME-1, ME-2 y rechazo) para comparar los resultados y los rendimientos de cada uno de los grupos.

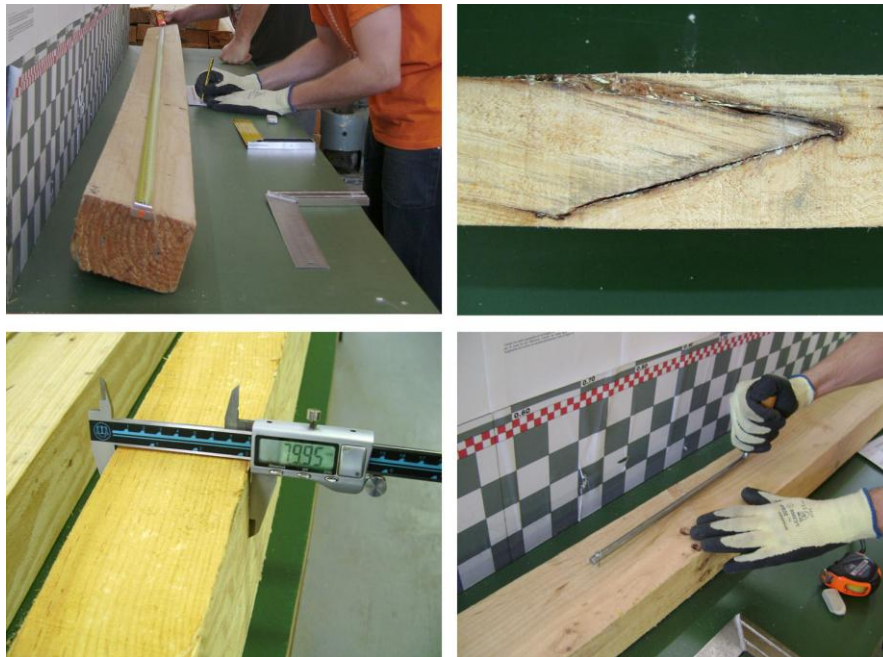


Figura 2. Proceso de clasificación visual.

### 3.4. Propiedades mecánicas

Las piezas se ensayaron a flexión de acuerdo a la norma UNE-EN 408 obteniendo el módulo de elasticidad global,  $E_{glo}$ , y la tensión de rotura a flexión,  $f_m$ . Tal y como indica la norma, la pieza se coloca simplemente apoyada con una luz de 18 veces la altura de la sección y se somete a dos cargas aplicadas en la cara superior a uno y dos tercios de la luz, figura 3.

En cada ensayo se registra la posición de la sección donde se ha producido la rotura, se realiza un croquis de la misma, se filma el proceso de ensayo y se fotografía la zona de rotura desde distintos ángulos para crear un registro gráfico muy completo que permite disponer de una base de datos interpretable de acuerdo a futuras normativas.

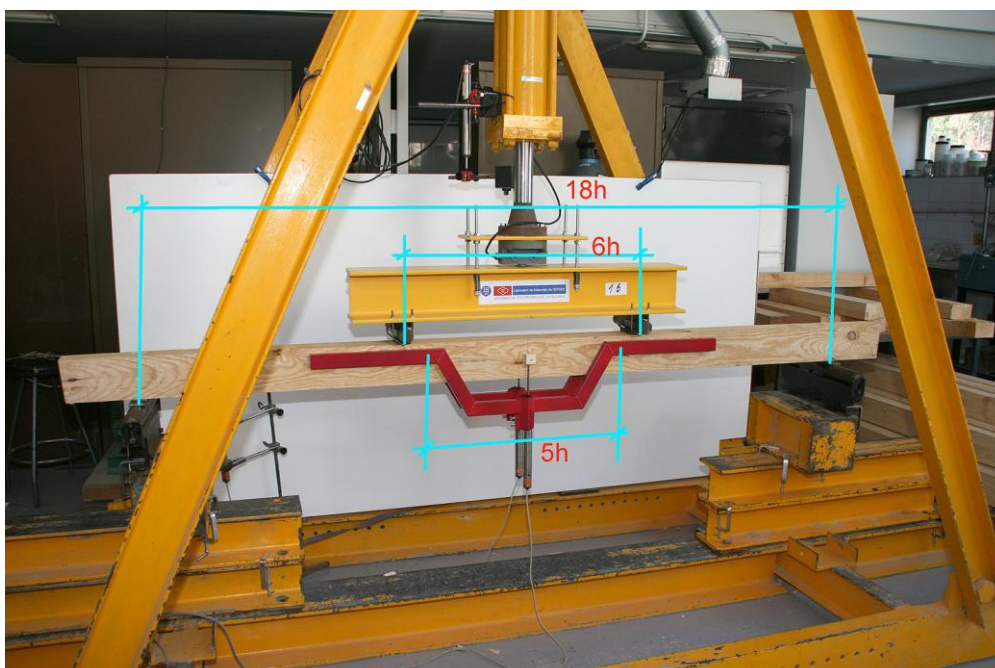


Figura 3. Pórtico para ensayos mecánicos.

Los módulos de elasticidad se corrigen a una humedad de referencia del 12 % tal y como indica la norma UNE-EN 384:2010, aumentando el valor un 1 % por cada 1 % de disminución del contenido de humedad de la madera.

#### 4. Análisis de resultados y discusión

##### 4.1. Rendimiento de la clasificación

En una primera fase se ha realizado la clasificación de las piezas de acuerdo con los criterios de la norma UNE 56544:2007 para la madera de gruesa escuadría. En la tabla 1 se resumen los resultados del rendimiento, las propiedades mecánicas y densidad obtenidas para cada grupo de calidad.

	Número piezas - Porcentaje	Tensión de rotura a flexión (N/mm <sup>2</sup> ) f <sub>m,mean</sub> - CV f <sub>m,k</sub>	Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> ) E <sub>glo</sub> - CV	Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) ρ <sub>mean</sub> - CV ρ <sub>k</sub>
MEG	79 - 53 %	47,47 - 28 % 27,99	9.920 - 21 %	526 - 10 % 448
Rechazo	71 - 47 %	35,60 - 32 % 18,05	7.871 - 20 %	474 - 11 % 406
Total	150 - 100 %	41,85 - 33 % 19,44	8.952 - 24 %	501 - 12 % 416
f <sub>m,mean</sub>	Valor medio de la resistencia a flexión			
CV	Coeficiente de variación			
f <sub>m,k</sub>	Valor característico (5º percentil) de la resistencia a flexión			
E <sub>glo</sub>	Valor medio del módulo de elasticidad global			
ρ <sub>mean</sub>	Valor medio de la densidad			
ρ <sub>k</sub>	Valor característico (5º percentil) de la densidad			

Tabla 1. Rendimiento de clasificación según UNE 56544 - MEG y propiedades físico mecánicas.

El porcentaje de rechazo de la clasificación es del 47 % que resulta elevado. Las propiedades mecánicas para la MEG presentan un elevado valor característico de la resistencia a flexión y un valor medio del módulo de elasticidad que correspondería a una clase resistente C20 según la norma UNE-EN 338. En la figura 4 se puede apreciar que para el módulo de elasticidad hay diferencias estadísticamente significativas entre la clase MEG y el rechazo.

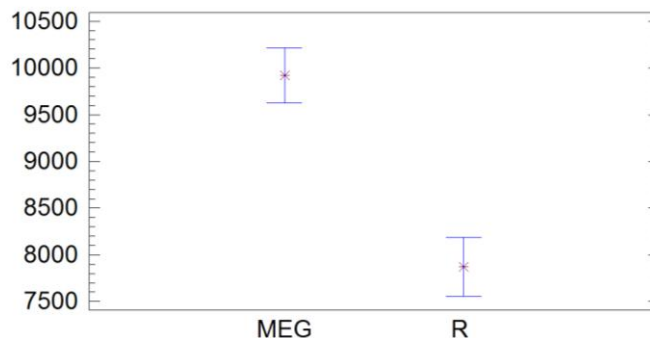


Figura 4. Gráfico de medias del ANOVA. Módulo de elasticidad en N/mm<sup>2</sup> en ordenadas

En la tabla 2 se se muestra el resultado de clasificar las piezas como si se tratara de piezas de pequeña escuadría (grosso inferior o igual a 70 mm). Esto permite analizar los resultados en la frontera entre las piezas de gran y pequeña escuadría.

	Número piezas - Porcentaje	Tensión de rotura a flexión (N/mm <sup>2</sup> ) f <sub>m,mean</sub> - CV f <sub>m,k</sub>	Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> ) E <sub>glo</sub> - CV	Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) ρ <sub>mean</sub> - CV ρ <sub>k</sub>
ME-1	4 - 3 %	55,68 - 20 % (1)	9.673 - 10 %	522 - 74 % (2)
ME-2	63 - 42 %	47,60 - 28 % 23,25	10.102 - 21 %	530 - 10 % 449
Rechazo	83 - 55 %	36,70 - 32 % 18,24	8.020 - 21 %	478 - 11 % 409
(1) Mínimo 46,17 (2) Mínimo 467				

Tabla 2. Rendimiento de clasificación según UNE 56544 – ME-1 y ME-2 y propiedades físico mecánicas.

Se observa que el porcentaje de rechazo es todavía superior al de la tabla 1. La presencia de la calidad ME-1 es tan solo del 3 % lo que implica que no compensa diferenciar dos calidades (ME-1 y ME-2). No obstante se observa que existen diferencias estadísticamente significativas entre la calidad ME-2 y el rechazo, figura 5.

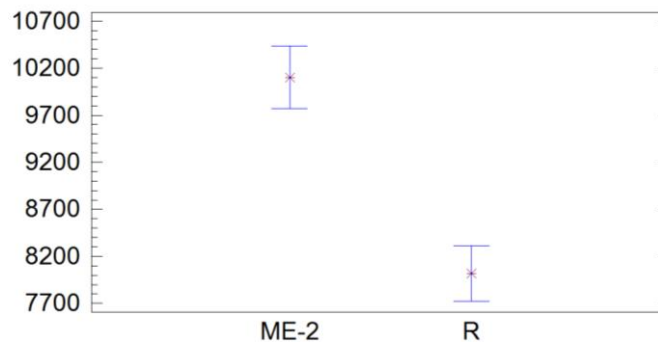


Figura 5. Gráfico de medias del ANOVA. Módulo de elasticidad en N/mm<sup>2</sup> en ordenadas

Teniendo en cuenta que el rendimiento de clasificación mediante los criterios de gruesa escuadría es mejor frente a los de pequeña escuadría, se verifica lo establecido por la norma de clasificación.

#### 4.2. Análisis de las causas de rechazo de las piezas

En la tabla 3 se recoge el número de piezas que son rechazadas por cada tipo de singularidad de la madera. Se observa que el parámetro de rechazo más relevante es el de alabeo, que implica un 39 % de rechazo. Esta singularidad, según la norma de clasificación, podría llegar a aceptarse siempre que la colocación en obra permita su corrección.

Piezas rechazadas	Nudos	Desviación fibra	Fendas	Gemas	Acebolladura
Número	12	0	0	0	7
Porcentaje	8 %	0 %	0 %	0 %	5 %
Piezas rechazadas	Curvatura de canto	Curvatura de cara	Alabeo	Bolsas de resina	Entrecasco
Número	0	0	58	1	5
Porcentaje	0 %	0 %	39 %	1 %	3 %

Tabla 3. Defectos de clasificación y rechazo.

En la tabla 4 se recogen los resultados del rendimiento y propiedades físico mecánicas en el caso de no considerar el parámetro del alabeo en la clasificación visual. Se puede apreciar una disminución del rechazo del 47 % al 17 %; el valor característico de la resistencia a flexión descende de 27,99 a 20,73 N/mm<sup>2</sup>, pérdida relevante; sin embargo, el módulo de elasticidad solo descende de 9.920 a 9.137 N/mm<sup>2</sup>. Por tanto, las propiedades mecánicas y la densidad de la calidad MEG, sin considerar el alabeo hacen que corresponda a una clase resistente C18. En la figura 6 se puede apreciar que para el módulo de elasticidad sigue habiendo diferencias estadísticamente significativas entre la clase MEG y el rechazo sin haber tenido en cuenta este defecto.

	Número piezas - Porcentaje	Tensión de rotura a flexión (N/mm <sup>2</sup> ) $f_{m,mean}$ - CV $f_{m,k}$	Módulo de elasticidad (N/mm <sup>2</sup> ) $E_{glo}$ - CV	Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) $\rho_{mean}$ - CV $\rho_k$
MEG (*)	125 - 83 %	43,38 - 31 % 20,73	9.137 - 24 %	502 - 12 % 415
Rechazo	25 - 17 %	34,36 - 34 % 17,68	8.012 - 22 %	496 - 11 % 420

Tabla 4. Rendimiento de clasificación según UNE 56544 - MEG (\*) y propiedades físico mecánicas sin considerar el parámetro de alabeo.

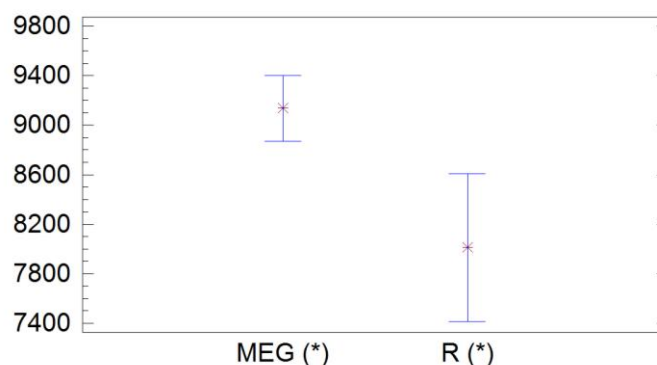


Figura 6. Gráfico de medias del ANOVA. Módulo de elasticidad en N/mm<sup>2</sup> en ordenadas. Calidades visuales sin tener en cuenta el alabeo.

### 4.3. Parámetros comunes en piezas con alabeo

Tras analizar las piezas rechazadas por alabeo se llegó a la conclusión de que en estas piezas los parámetros más frecuentes son la presencia de médula, no siempre centrada, y de madera juvenil. De las 47 piezas que contienen la médula, 33 (70 %) presentaban alabeo, figura 7.



Figura 7. Ejemplo de vigas rechazadas por alabeo

## 5. Conclusiones

Las propiedades mecánicas y la densidad de la muestra de 150 piezas de madera de Pino radiata clasificadas como MEG según la norma UNE 56544, procedente de Cataluña presentan un valor característico de la resistencia a flexión de  $27,99 \text{ N/mm}^2$ , un valor medio del módulo de elasticidad de  $9.920 \text{ N/mm}^2$  y un valor característico de la densidad de  $448 \text{ kg/m}^3$ . El porcentaje de rechazo es muy elevado (47 %).

La clasificación de las piezas de sección  $80 \times 150 \text{ mm}$  (gruesa escuadría) consideradas como de pequeña escuadría da lugar a una asignación de propiedades mecánicas similares para la calidad ME-2, con un rendimiento prácticamente nulo para la madera de calidad ME-1. El porcentaje de rechazo es más elevado que en el caso anterior (55 %). Esto implica que no es rentable su clasificación como madera de pequeña escuadría y que la asignación a MEG es más adecuada.

El defecto más relevante en el rechazo de las piezas que no alcanzan la calidad MEG es el alabeo de la sección. Si no se considera este defecto, se observa que la resistencia característica a flexión desciende a  $20,73 \text{ N/mm}^2$ , mientras que el valor medio del módulo de elasticidad solo disminuye a  $9.137 \text{ N/mm}^2$ . La densidad característica baja a  $415 \text{ kg/m}^3$ . La principal ventaja de no tener en cuenta el defecto del alabeo es que el porcentaje de rechazo desciende al 17 %.

La causa de la disminución de las propiedades mecánicas, al admitir el alabeo, está relacionada con la presencia de médula y seguramente de madera juvenil.

## Bibliografía

- Conde, M. 2003. "Caracterización de la madera estructural de *Pinus nigra* Subs *salzmannii*". Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. de Ingenieros de Montes. Tesis Doctoral.
- Hermoso, E. 2001. "Caracterización mecánica de la madera estructural de *Pinus sylvestris* L". Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. de Ingenieros de Montes. Tesis Doctoral.
- Íñiguez, G. 2007. "Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural". Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. de Ingenieros de Montes. Tesis Doctoral.
- Martínez, J.J. 1992. "Características mecánicas de la Madera de *Pinus pinaster* Ait. Obtenidas a partir de ensayos con piezas de tamaño estructural". Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S. de Ingenieros de Montes. Tesis Doctoral.
- UNE 56544:2007. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.
- UNE-EN 13183-1:2002+AC2004. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.
- UNE-EN 1912:2010. Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies.
- UNE-EN 338:2010. Madera estructural. Clases resistentes.
- UNE-EN 384:2004. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y de la densidad.
- UNE-EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y de la densidad.
- UNE-EN 408:2004+erratum 2009. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.