

# CLASIFICACIÓN VISUAL DE LA MADERA DE PINO RADIATA (*PINUS RADIATA* D. DON) EN PIEZAS DE GRAN ESCUADRÍA PARA USO ESTRUCTURAL.

Íñiguez, G.<sup>1</sup>; Arriaga, F.<sup>1</sup>; Fernández-Golfin, J.I.<sup>2</sup>; Díez, R.<sup>2</sup>; Hermoso, E.<sup>2</sup>; Mier, R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad Docente de Cálculo de Estructuras  
Departamento de Construcción y Vías Rurales  
E.T.S.I. de Montes. Universidad Politécnica de Madrid  
Ciudad Universitaria s/n.  
28040 Madrid  
iniguez@inia.es

<sup>2</sup> Laboratorio de Estructuras de Madera  
INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y Alimentarias)  
Ctra. de La Coruña km. 7,5  
28040 Madrid

## Resumen

En el presente trabajo se recogen los resultados de caracterización visual y mecánica para la madera aserrada estructural de pino radiata de grandes escuadrías de procedencia del País Vasco. Sobre un total de 155 piezas, de secciones 150 x 200 mm y 150 x 250 mm, se cuantifican las diferentes especificaciones que establece la norma de clasificación visual, UNE 56544. Posteriormente, se ensayan hasta la rotura según la norma UNE-EN 408 de determinación de las propiedades físicas y mecánicas, obteniéndose los valores característicos según las indicaciones de la norma UNE-EN 384. De todo ello, se extraen conclusiones sobre la clasificación visual de la madera aserrada de grandes escuadrías, contrastándose la efectividad de los parámetros utilizados actualmente en la determinación de la calidad. Y para concluir, se sugiere que el estudio de las grandes escuadrías, secciones, por otra parte, muy empleadas en la construcción tradicional, requiere un apartado especial y un tratamiento normativo específico en lo que a la clasificación visual se refiere.

**Palabras clave:** Construcción; Estructuras; Calidad; Normalización; Propiedades mecánicas; Técnicas no destructivas.

## INTRODUCCIÓN

La norma UNE 56544 para la clasificación visual de la madera de coníferas para uso estructural define dos calidades, ME-1 y ME-2. Esta norma es de aplicación para las especies de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), pino laricio (*Pinus nigra* Arn. var. *Saltzmanii*), pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait.) y pino insigne (*Pinus radiata* D. Don) de procedencia española. Su desarrollo ha sido consecuencia de varios trabajos de investigación (Martínez, 1992, Hermoso, 2001 y Conde, 2003).

Para la madera de pino radiata las calidades ME-1 y ME-2 corresponden a las clases resistentes C24 y C18 de la norma UNE-EN 338, respectivamente, como recoge la norma UNE-EN 1912. Estas clases resistentes han sido obtenidas, como en la mayoría de las especies, mediante los resultados de ensayos de piezas de secciones relativamente pequeñas; en el caso del pino radiata con secciones de 40 x 100, 50 x 150 y 70 x 200 mm (Fernández-Golfin *et al.*, 1998 y Gutiérrez *et al.*, 2000). Sin embargo, existen estudios sobre piezas procedentes de estructuras existentes y con secciones de 130 x 240 mm que para las mismas calidades presentan propiedades mecánicas inferiores a las de las secciones pequeñas (Arriaga *et al.*, 2004).

Una parte muy importante de la madera que se emplea en España para estructuras utiliza secciones de gran tamaño debido a que se destinan a construcciones de aspecto tradicional.

Una de las causas que pueden justificar estas diferencias se encuentra en el hecho de que algunos de los parámetros empleados en la clasificación tienen límites en la norma definidos adecuadamente sólo para secciones reducidas, pero no son válidos para secciones mayores. En consecuencia se

proponen modificaciones en la norma de clasificación para corregir este defecto.

## **MATERIAL ENSAYADO**

Se han ensayado un total de 155 piezas de madera aserrada de pino radiata de gruesa escuadría agrupadas en dos lotes; lote 1, formado por 80 piezas de sección transversal nominal de 150 x 200 mm y longitud media de 4,57 m; lote 2, constituido por 75 piezas de sección transversal nominal de 150 x 250 mm y longitud media de 5,61 m.

Ambos lotes proceden de una muestra representativa de la producción de madera aserrada del País Vasco extraída de varios aserraderos. Las piezas fueron secadas al aire durante 8 meses antes del proceso de ensayo.

## **METODOLOGÍA**

### **Clasificación según norma UNE 56544**

Se ha realizado la clasificación visual de las piezas de acuerdo con la norma UNE 56544. Esta norma establece dos calidades: ME-1 y ME-2. Las especificaciones principales se recogen en la tabla 1 y los resultados de la clasificación en la tabla 2.

La aplicación de la norma UNE da lugar a un porcentaje de piezas rechazadas (piezas que no cumplen las especificaciones de la calidad ME-2) demasiado elevado para un aprovechamiento industrial de la madera en la construcción.

### **Contenido de humedad**

El contenido de humedad de las piezas se ha determinado utilizando un xilohigrómetro de resistencia eléctrica siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-EN 13183-2 y contrastando los resultados con el método del secado en estufa según la norma UNE-EN 13183-1. El contenido medio de humedad de las piezas es del 14,4 % (11,2 a 21,1 %).

### **Medición de la densidad**

La densidad de cada una de las piezas se ha calculado siguiendo la metodología descrita en la norma UNE-EN 408. El valor deducido es corregido a una humedad de referencia del 12 % de acuerdo con lo descrito en la norma UNE-EN 384, reduciendo el valor en un 0,5 % por cada 1 % de disminución del contenido de humedad de la madera. El valor medio de la densidad de las piezas es del 478 kg/m<sup>3</sup> (386 a 609 kg/m<sup>3</sup>).

### **Propiedades mecánicas**

Se ha realizado el ensayo a flexión según la norma UNE-EN 408 determinando el módulo de elasticidad global,  $E_{glo}$ , y la tensión de rotura a flexión,  $f_m$ . Para cada ensayo se registra la posición de la sección donde se ha producido la rotura y se realiza un esquema del modo de rotura.

De acuerdo a lo prescrito por la norma, la pieza se dispone simplemente apoyada con una luz igual a 18 veces la altura de la sección y es sometida a dos cargas simétricamente colocadas en los tercios de la luz, figura 1.

Los módulos de elasticidad son corregidos a una humedad de referencia del 12 % de acuerdo con lo descrito en la norma UNE-EN 384, aumentando el valor en un 2 % por cada 1 % de disminución del contenido de humedad de la madera.

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La clasificación visual de la madera de acuerdo con la norma UNE 56.544 da lugar a un porcentaje de rechazos demasiado elevado, como se ha comentado anteriormente. Además, las propiedades mecánicas que resultan para la madera clasificada y la rechazada son muy similares. No existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos, lo que indica que los parámetros de la norma no permiten diferenciar las piezas por su resistencia, tabla 3.

Para conocer cual es la causa principal del elevado porcentaje de rechazo se ha analizado la influencia de los parámetros principales de la clasificación: tamaño de los nudos, desviación de la fibra, fendas, entrecasco, bolsa de resina, gemas y deformaciones. En la tabla 4 y figura 5 se recogen los resultados de la asignación de las calidades de manera independiente para cada parámetro.

Se observa cómo la limitación del tamaño de los nudos, del entrecasco y de las bolsas de resina constituyen los principales parámetros de rechazo.

La especificación del entrecasco y de las bolsas de resina definida en la norma limita su longitud a 80 mm. Esto resulta excesivamente exigente desde el punto de vista estructural en secciones grandes como las utilizadas en este estudio. Por ello se propone limitar la longitud del entrecasco y de las bolsas de resina a 1,5 veces la dimensión de la cara, es decir,  $L \leq 1,5 \cdot h$ .

Después de reclasificar la muestra de estudio introduciendo esta modificación se obtienen para cada calidad los resultados de las propiedades mecánicas que se recogen en la tabla 5. Este cambio supone una reducción del rechazo del 44 % al 28 % sin que las propiedades mecánicas hayan disminuido.

Dado que este índice de rechazo es todavía elevado desde un punto de vista industrial y teniendo en cuenta que el tamaño de los nudos es otro de los parámetros más relevantes se procede a introducir otra modificación. La especificación de la norma para el tamaño del nudo de cara en la calidad visual ME-2 es de  $h/2$  y se propone cambiarla a  $2h/3$ .

En la tabla 6 se recogen los resultados de la reclasificación teniendo en cuenta todas las modificaciones hasta ahora propuestas.

El porcentaje de rechazo desciende a un 17 % y las propiedades mecánicas de la ME-2 se mantienen y aumenta la diferencia estadística entre calidades sin llegar a ser significativa.

## **CONCLUSIONES**

La aplicación de la norma UNE 56544 en piezas de gran escuadría de pino radiata da lugar a un porcentaje de rechazo muy elevado, 44 %. Además, no existen diferencias estadísticamente significativas entre calidades.

El tamaño de los nudos, principalmente los nudos de cara, junto con la longitud del entrecasco y las bolsas de resina son los parámetros más relevantes en el rechazo. Por lo tanto, en primer lugar se propone la reducción de la exigencia del entrecasco y las bolsas de resina por considerar que su efecto no es relevante en las propiedades mecánicas. En esta situación el porcentaje de rechazo disminuye hasta el 28 %.

Como segunda medida añadida se sugiere la reducción de la exigencia del tamaño del nudo de cara. En este caso el porcentaje de rechazo disminuye al 17 % manteniéndose las propiedades mecánicas y aumentando la diferencia estadística entre calidades sin llegar a ser significativa. Esta última propuesta queda sujeta a más estudios similares sobre otras especies de coníferas.

## **Agradecimientos**

Ministerio de Ciencia y Tecnología (Plan Nacional I+D+I 2000-2003. Proy.: AGL2002-00813). AITIM. CIFOR-INIA, Universidad Politécnica de Madrid (ETSIM).

## BIBLIOGRAFÍA

ARRIAGA, F. Y ESTEBAN, M.; 2004. Evaluation of load carrying capacity of old timber structures. Proceedings of 8th World Conference on Timber Engineering (WCTE 2004). Lahti, Finlandia, junio de 2004. Pp. 685-688.

CONDE GARCÍA, M.; 2003. Caracterización de la madera estructural de *Pinus nigra Subsp. Salzmannii*. Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros de Montes. Tesis Doctoral. Director: Juan Ignacio Fernández-Golfín Seco.

FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I.; DíEZ BARRA, R.; 1998. Caracterización mecánica de la madera aserrada de uso estructural clasificada visualmente de acuerdo con la norma UNE 56544. Mater. Construcc., 48(252):45-59.

GUTIÉRREZ OLIVA, A; FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.I.; BAONZA MERINO, M.V.; GARCÍA DE CECA, J.L.; 2000. Propiedades físico-mecánicas de la madera de pino radiata español". Paper oral en I Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo de Productos Forestales. Universidad de Concepción (Chile), 18-20 de octubre de 2000.

HERMOSO PRIETO, E.; 2001. Caracterización mecánica de la madera estructural de *Pinus sylvestris* L. Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros de Montes. Tesis Doctoral. Director: Juan Ignacio Fernández-Golfín Seco.

MARTÍNEZ GARCÍA, 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. Ingenieros de Montes. Tesis Doctoral. Director: Jaime Ortiz Gutiérrez.

UNE-EN 338. 1999. Madera estructural. Clases resistentes.

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

UNE-EN 408. 1999. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.

UNE-EN 1912. Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades y especies.

UNE-EN 13183-1. 2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.

UNE-EN 13183-2. 2002. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica.

UNE 56544. 2003. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas.

Tabla 1. Especificaciones principales de calidad de la norma UNE 56544.

CRITERIOS DE CALIDAD		ME-1	ME-2
DIAMETRO DE LOS NUDOS SOBRE LA CARA ( <i>h</i> )		$d \leq 1/5$ de " <i>h</i> "	$d \leq 1/2$ de " <i>h</i> "
DIAMETRO DE LOS NUDOS SOBRE EL CANTO ( <i>b</i> )		$d \leq 1/2$ de " <i>b</i> " y $d \leq 30$ mm	$d \leq 2/3$ de " <i>b</i> "
ANCHURA MÁXIMA DEL ANILLO DE CRECIMIENTO (1) - Pino silvestre - Pino laricio - Pino gallego y pinaster - Pino insigne (radiata)		$\leq 4$ mm $\leq 5$ mm $\leq 8$ mm $\leq 10$ mm	Sin limitación Sin limitación Sin limitación Sin limitación
FENDAS	De contracción (2)(3)	$f \leq 2/5$	$f \leq 3/5$
	- Acebolladuras - Rayo - Heladura - Abatimiento	No permitidas	
BOLSAS DE RESINA y ENTRECASCO		Se admiten si su longitud es menor que 80 mm	
MADERA DE COMPRESION		Admisible en 1/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza	Admisible en 2/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza
DESVIACION DE LA FIBRA		1:10 (10%)	1:6 (16,7%)
GEMAS - longitud - Anchura y espesor		$\leq 1/4$ de " <i>L</i> " $G \leq 1/4$	$\leq 1/3$ de " <i>L</i> " $G \leq 1/3$
MÉDULA (1)		Admitida No admitida si se clasifica en húmedo	Admitida
(1) Estas características sólo se considerarán cuando se comercializa en húmedo (2) Estas características no se considerarán cuando la clasificación se efectúa en húmedo (3) Referidas a un 20% de contenido de humedad. Las fendas de contracción sólo se considerarán si su longitud es mayor que la menor de las dimensiones siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 m.			
Para secciones cuya relación $h/b \leq 1,5$ , las cuatro superficies serán consideradas como caras.			

Tabla 2. Rendimiento de la clasificación visual. Porcentaje de piezas.

<b>Sección</b>	<b>ME-1 (%)</b>	<b>ME-2 (%)</b>	<b>Rechazo (%)</b>
<b>150x200</b>	0	64	36
<b>150x250</b>	0	48	52
<b>Total</b>	0	56	44

Figura 1. Disposición en el ensayo de flexión para la determinación de módulo de elasticidad global.

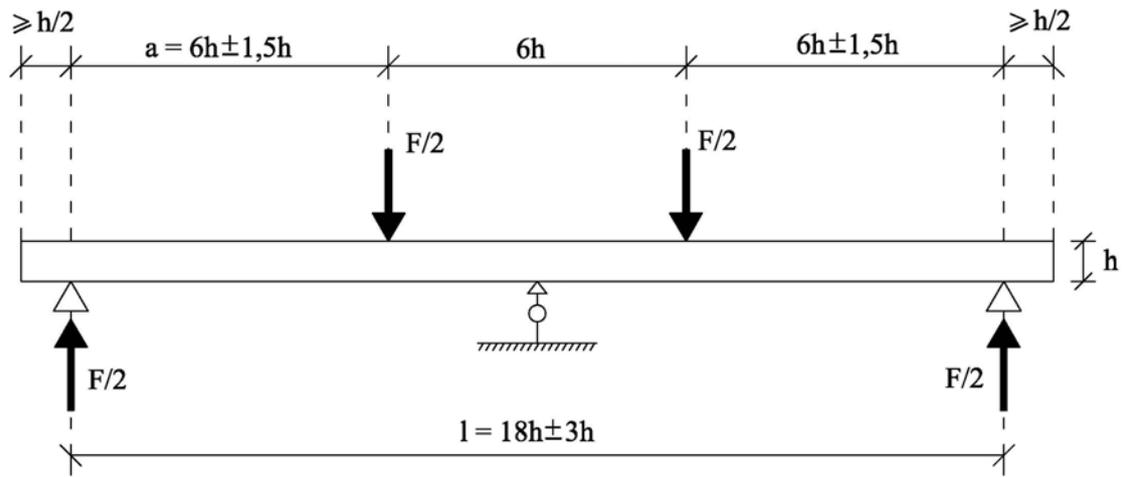


Tabla 3. Propiedades físicas y mecánicas según norma UNE 56544.

Calidad	% piezas	Tensión de rotura característica (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad medio (N/mm <sup>2</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	
		$f_{m,k}$	$E_{glo}$	$\rho_m$	$\rho_k$
ME-2	56	15,67	8.893	476	415
R	44	13,20	9.158	481	420

Tabla 4. Asignación de la calidad para cada parámetro de clasificación. Porcentaje de piezas asignadas a cada calidad.

<b>Parámetro de clasificación</b>	<b>Calidad</b>		
	<b>ME-1</b>	<b>ME-2</b>	<b>Rechazo</b>
<b>Nudos</b>	0	75	25
<b>Nudos de cara</b>	9	74	17
<b>Nudos de canto</b>	1	90	9
<b>Nudos de margen</b>	17	82	1
<b>Nudos de arista</b>	90	9	1
<b>Desviación de la fibra</b>	86	10	4
<b>Fendas</b>	96	4	0
<b>Entrecasco</b>	79	0	21
<b>Bolsa de resina</b>	88	0	12
<b>Gemas</b>	98	2	0
<b>Deformaciones</b>	87	12	1
<b>Todos los parámetros</b>	0	56	44

Figura 2. Asignación de la calidad para cada parámetro de clasificación.

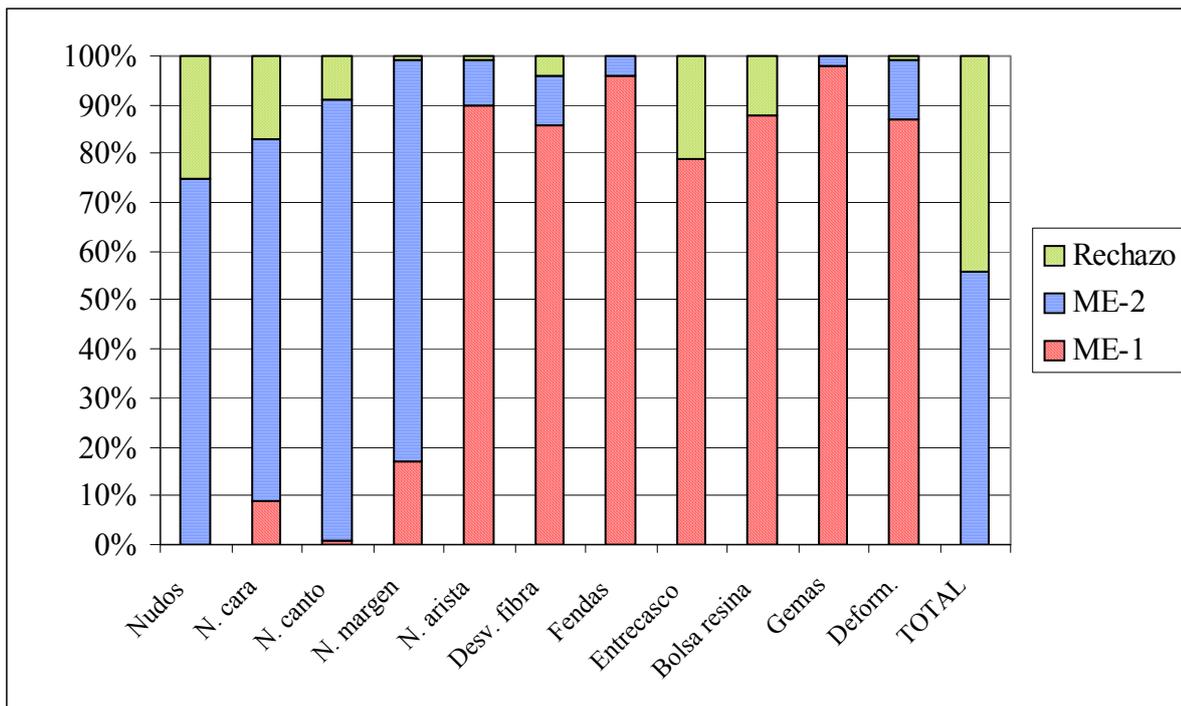


Tabla 5. Propiedades físicas y mecánicas según norma UNE 56544 incluyendo la modificación de la especificación del entrecasco y las bolsas de resina.

Calidad	% piezas	Tensión de rotura característica (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad medio (N/mm <sup>2</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	
		$f_{m,k}$	$E_{glo}$	$\rho_m$	$\rho_k$
ME-2	72	15,40	9.169	479	416
R	28	15,25	8.607	477	420

Tabla 6. Propiedades físicas y mecánicas según norma UNE 56544 incluyendo la modificación de la especificación del entrecasco, bolsas de resina y nudos de cara.

Calidad	% piezas	Tensión de rotura característica (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad medio (N/mm <sup>2</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	
		$f_{m,k}$	$E_{glo}$	$\rho_m$	$\rho_k$
ME-2	83	15,36	9.091	479	417
R	17	12,99	8.604	474	417