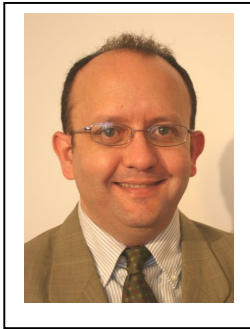


# Análisis comparativo de procedimientos para la medición de las gemas y evaluación de su influencia en la determinación de las propiedades mecánicas de la madera de *Pinus sylvestris* L. de gran escuadría.

## **Miguel Esteban**

Doctor Ingeniero de Montes  
Universidad Politécnica de Madrid  
Madrid, España  
[miguel.esteban@upm.es](mailto:miguel.esteban@upm.es)



## **María José Montero**

Ingeniero Agrónomo  
Universidad Politécnica de Madrid  
Madrid, España  
[mj.montero@upm.es](mailto:mj.montero@upm.es)



## **Raquel Mateo**

Ingeniero de Montes  
AITIM  
Madrid, España  
[r.mateo@aitim.es](mailto:r.mateo@aitim.es)



## **Guillermo Íñiguez-González**

Doctor Ingeniero de Montes  
Universidad Politécnica de Madrid  
Madrid, España  
[guillermo.iniguez@upm.es](mailto:guillermo.iniguez@upm.es)



## **Francisco Arriaga**

Doctor Arquitecto  
Universidad Politécnica de Madrid  
Madrid, España  
[francisco.arriaga@upm.es](mailto:francisco.arriaga@upm.es)



## **Ignacio Bobadilla**

Doctor Ingeniero de Montes  
Universidad Politécnica de Madrid  
Madrid, España  
[i.bobadilla@upm.es](mailto:i.bobadilla@upm.es)



**Palabras clave** - Gemas, *Pinus sylvestris* L., madera estructural, gran escuadría, propiedades mecánicas

**Keywords** - wanes, *Pinus sylvestris* L., structural timber, large cross section, mechanical properties

## **RESUMEN**

Las gemas se evalúan mediante la norma de clasificación visual (UNE 56544), pero su aplicación en estructuras existentes y grandes escuadrías resulta poco eficaz y conduce a estimaciones demasiado conservadoras. Este trabajo analiza la influencia de las gemas comparando la resistencia de piezas con gemas y piezas correctamente escuadradas. Se han analizado 218 piezas de pino silvestre con dimensiones nominales 150 x 200 x 4.200 mm, de las que 102 presentaban una gema completa a lo largo de toda su longitud y el resto estaban correctamente escuadradas. En las piezas con gema se ha medido la altura de la sección cada 30 cm (altura en cada cara y altura máxima). Para determinar la resistencia se han ensayado todas las piezas de acuerdo a la norma EN 408. Se ha comparado la resistencia obtenida para las piezas con gema, diferenciando si la gema se encuentra en el borde comprimido o en el borde

traccionado, con las piezas escuadradas. Puede concluirse que la presencia de gemas disminuye la resistencia excepto si la gema se encuentra en el borde traccionado, en cuyo caso los resultados obtenidos han sido similares a los de las piezas escuadradas.

## ABSTRACT

The waness on structural timber are evaluated according to the visual grading standard (UNE 56544), but its application on existing structures and large cross sections is ineffective and leads to conservative estimations. This paper analyzes the influence of the waness by comparing the resistance of pieces with waness and square pieces. 218 pieces of Scotch pine with nominal dimensions 150 x 200 x 4200 mm have been analyzed, 102 of them had a complete wane along its length and the rest were properly squared. The height of the cross section was measured every 30 cm (the height on each side and the maximum height) for the pieces with wane. The bending strength of all the pieces was obtained according to the EN 408 standard. The bending strength of the pieces with wane has been compared with the strength of the squared pieces, taking into account if the wane is positioned on the compressed edge or on the tensioned edge. It can be concluded that the bending strength of the pieces with waness is lower than the one of squared pieces, except if the waness are on the tensioned edge of the beam.

### 1. Introducción

Los ensayos de caracterización de la madera para uso estructural se llevan a cabo sobre secciones rectangulares en las que las constantes geométricas de la sección son bien conocidas o plantean pocos interrogantes. De este modo y mediante ensayos normalizados se pueden obtener las propiedades mecánicas de resistencia y módulo de elasticidad.

Las gemas son un defecto del aserrado de la madera que consiste en la manifestación de la curvatura del tronco en una o en varias aristas de la sección. Las gemas dan lugar a secciones que no son rectangulares y su presencia en piezas de madera afecta a su capacidad resistente y a su rigidez. Una sección con gemas tiene un área resistente y unos ejes principales diferentes de la sección rectangular, por lo que la distribución de tensiones y el comportamiento mecánico también serán diferentes.

El análisis de las gemas en este trabajo se plantea desde una doble perspectiva: desde un punto de vista geométrico y desde un punto de vista mecánico.

Desde el punto de vista geométrico es necesario determinar qué parámetros son los más adecuados para medir las gemas, de manera que puedan servir para cuantificarlas. Para ello se puede recurrir a las formas de medición que proponen las normas de clasificación visual, aunque se trata de mediciones simples que no permiten profundizar en su estudio. Para profundizar en el estudio de las gemas es necesario realizar mediciones más detalladas que, aunque dan resultados más precisos, complican notablemente su manejo.

Desde el punto de vista mecánico, una vez que es posible cuantificar las gemas, es necesario comparar las propiedades de resistencia y elasticidad de piezas con gemas y piezas sin gemas.

Este trabajo se basa en el estudio de piezas de madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) de gruesa escuadría obtenidas por aserrado de tres caras, de manera que en la cuarta cara se manifiesta una gema continua a lo largo de toda la pieza. En primer lugar se han estudiado las diferentes formas de medir las gemas con el objeto de aproximarse de la manera más eficaz posible a una geometría más sencilla que permita obtener las tensiones en la sección. En segundo lugar se han realizado ensayos mecánicos sobre las piezas de acuerdo a la norma EN 408 para obtener la capacidad portante (momento de rotura) y la densidad. Los resultados de los ensayos han sido comparados con las propiedades obtenidas de madera escuadrada de la misma procedencia y calidad, con el objeto de evaluar la influencia de las gemas. También se ha comparado el comportamiento de las piezas sometidas a flexión cuando la gema se encuentra en

el borde traccionado (en el canto inferior, según la disposición de ensayo) o en el borde comprimido (en el canto superior).

Las aplicaciones de las conclusiones del estudio son útiles para la consideración de las gemas en las normas de clasificación visual y, en caso necesario, para corregir las especificaciones de gema para las diferentes calidades. También son de aplicación en la caracterización de la madera en estructuras existentes, en las que es frecuente la presencia de gemas que conducirían a un elevado rechazo de piezas.

## **2. Objeto**

Este trabajo tiene como primer objetivo el análisis de diferentes criterios de medición de las gemas en secciones escuadradas de madera estructural. Tiene como segundo objetivo el estudio de la relación entre las gemas observadas a través de sus parámetros de medición con la resistencia obtenida mediante ensayo mecánico normalizado.

## **3. Antecedentes**

La influencia de las gemas en las propiedades mecánicas ha sido poco estudiada de manera directa. De manera indirecta se pueden derivar algunas conclusiones a partir de otros estudios realizados sobre madera de rollizo obtenida simplemente por descortezado. En estas piezas no ha habido aserrado y, por tanto, no se interrumpe la continuidad de la fibra en el perímetro de la pieza. De estos estudios se deduce que la continuidad de la fibra en el perímetro de la pieza mejora la resistencia y el módulo de elasticidad frente a las secciones aserradas escuadradas o secciones circulares obtenidas por torneado (Fernández-Golfín et al, 2007). Esta continuidad de la fibra también se pone de manifiesto en las piezas con presencia de gemas, por lo que es generalizada la opinión de que la pérdida de sección se compensa con la mejora de la resistencia, aunque sin mucha justificación o sin llegar a cuantificarlo.

Otros estudios apuntan hacia la reducción de la resistencia con carácter general cuando existen gemas, comparando la resistencia y el módulo de elasticidad de la madera de rollizo de pino silvestre con madera escuadrada que presenta gemas (Vestol and Hoibo, 2010). Este estudio pone de manifiesto que la madera de sección escuadrada con gemas tiene resistencia y módulo de elasticidad menores que las secciones equivalentes en rollizo.

Desde un análisis puramente geométrico se han analizado las gemas en secciones escuadradas (Esteban, 2003. Arriaga et al, 2007). Estos estudios desarrollan un índice de gema que permite corregir la resistencia teórica de piezas escuadradas cuando aparecen gemas de diferente magnitud en una, dos o cuatro aristas de la sección rectangular. Este índice se basa en la comparación del módulo resistente de una sección rectangular con el módulo resistente de la sección con gema inscrita en el mismo rectángulo, obtenidos ambos módulos mediante el análisis de la geometría y la determinación de los ejes principales. En estos trabajos también se concluye que para las gemas admitidas por las especificaciones de la norma de clasificación visual UNE 56544 no se aprecia una pérdida de resistencia significativa.

Estudios similares se han llevado a cabo sobre otros defectos como las fendas de secado, dando lugar a problemáticas de planteamiento y análisis similares. Las fendas y las gemas son dos defectos que se presentan con frecuencia en la madera de gruesa escuadrada y en la madera de estructuras existentes. Desde el punto de vista de la clasificación las normas establecen unas limitaciones por calidades para estos y otros defectos, y en consecuencia establecen una asignación con unas propiedades mecánicas a través de las clases resistentes. Desde el punto de vista de las estructuras existentes, estos defectos conducen a menudo al rechazo de un número elevado de piezas sin una justificación claramente relacionada con su influencia en las propiedades mecánicas (Mateo, 2005. Esteban et al, 2010).

## **4. Metodología**

El estudio se ha llevado a cabo sobre 218 piezas de madera aserrada de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) procedente de Valsain, en la provincia de Segovia (España). Las dimensiones nominales de las piezas eran 150 x 200 x 4.200 mm.

Del total de piezas, 102 fueron aserradas sólo por tres caras, quedando uno de los cantos ocupado completamente por una gema a lo largo de toda la longitud. En estas piezas con gema (CG) la altura de la sección resultó ser muy variable, por lo que el valor de altura nominal (200 mm) debe considerarse meramente informativo. Las 116 piezas restantes eran piezas sin gema (SG), escuadradas por las cuatro caras y manteniendo aristas vivas a lo largo de toda su longitud.

Se seleccionaron todas las piezas para obtener un lote de calidad homogénea. Para ello se eligieron piezas con cantidad y tamaño de defectos que se aproximaban a las especificaciones de la calidad MEG según la norma UNE 56544, y todas ellas con un contenido de humedad similar en el momento de la selección.

También se realizaron mediciones de velocidad de propagación de una onda con el equipo comercial Microsecond Timer (Fakkop), con el objeto de seleccionar piezas con una velocidad de propagación similar y mejorar la homogeneidad del lote, la velocidad media obtenida fue de 4.092 m/s, siendo el valor máximo y mínimo 4.764 m/s y 3.361 m/s respectivamente. Las piezas con valores de velocidad fuera de este rango fueron rechazadas del lote.

Todas las piezas fueron cepilladas y retestadas y se acopiaron en el laboratorio hasta alcanzar contenidos de humedad estables alrededor del 10 %. (Media de 10,31 %, valor máximo de 15,2 % y valor mínimo de 7,1 %).

Las operaciones realizadas fueron las siguientes:

- Clasificación visual con la norma UNE 56544
- Medición de secciones y gemas
- Ensayo mecánico

#### 4.1. Clasificación visual

Una vez estabilizado el contenido de humedad de las piezas en el laboratorio se llevó a cabo la clasificación visual de todas las piezas de acuerdo con la norma UNE 56544. El resultado de la clasificación se muestra en la Tabla 1, en la que se observa que el secado tiene consecuencias que se manifiestan en forma de fendas, curvaturas y alabeos que repercuten en el rendimiento de la clasificación.

Lote	Nº de piezas	% MEG	% Rechazo	Motivo del rechazo
Con gema (1)	102	0	100	gemas 100 %
Con gema (2)	102	80,4	19,6	defectos de secado 13,7 % nudos 5 % entrecasco 0,98 %
Sin gema	116	69,0	31,0	defectos de secado 26,7 % nudos 1,7 % desviación de la fibra 0,86 % entrecasco 1,7 %

Tabla 1 - Rendimiento de la clasificación visual de los lotes con gema y sin gema, según UNE 56544. (1) clasificación visual incluyendo el criterio de gemas. (2) clasificación visual sin tener en cuenta el criterio de gemas.

#### 4.2. Medición de secciones y gemas

En las vigas con gema (CG), para determinar la anchura (b) se hicieron tres mediciones a lo largo de la pieza y se obtuvo el valor medio, que se consideró constante. Para determinar la

geometría de la sección y la magnitud de las gemas se hizo una medición cada 30 cm de tres valores de altura (Fig. 1):

- altura de una cara ( $h_1$ )
- altura máxima de la sección ( $h_{m\acute{a}x}$ )
- altura de la otra cara ( $h_2$ )

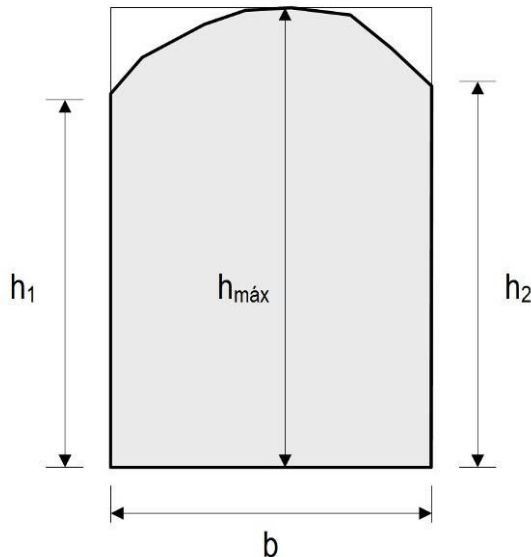


Figura 1 - Esquema de la sección con medidas de altura

Las medidas sobre las caras laterales permiten cuantificar la magnitud de las gemas y la medida de altura máxima permite calcular la sección del rectángulo en el que se encuentra inscrita la sección irregular. Las medidas de la anchura ( $b$ ) y de las caras laterales ( $h_1$  y  $h_2$ ) se llevaron a cabo con flexómetro. La altura máxima ( $h_{m\acute{a}x}$ ) se obtuvo con forcípula (Fig. 2).



Figura 2 - Detalle de la medida con forcípula

En las vigas escuadradas y sin gema (SG) se obtuvo un valor medio de anchura ( $b$ ) y altura ( $h$ ) de la sección a partir de tres mediciones realizadas a lo largo de la pieza. Las dimensiones de la sección se consideraron constantes.

Con estos valores, en las piezas con gema (CG) se calculó un valor medio de altura de cada sección ( $h_{med\ i}$ ) y un valor medio de altura de toda la viga o de un tramo de la viga ( $h_{med}$ ) de acuerdo a las ecuaciones siguientes:

- para cada sección (i) dentro de una pieza:

$$\frac{\frac{h_{1i} + h_{2i}}{2} + h_{max\ i}}{2} = h_{med\ i} \quad (1)$$

- para cada viga o para tramo de viga (desde  $i = 1$  hasta  $i = n$ , siendo  $n$  el número de secciones comprendidas en el tramo), a partir de la altura media de cada sección ( $h_{med\ i}$ ):

$$\frac{\sum_i^n h_{med\ i}}{n} = \bar{h}_{med} \quad (2)$$

- para cada viga o para tramo de viga (desde  $i = 1$  hasta  $i = n$ , siendo  $n$  el número de secciones comprendidas en el tramo), a partir de la altura máxima de cada sección ( $h_{max\ i}$ ):

$$\frac{\sum_i^n h_{max\ i}}{n} = \bar{h}_{max} \quad (3)$$

Con estas expresiones se dispone de un valor representativo de cada sección individual (Ecuación 1) y de un valor representativo de toda la pieza o de un tramo de la pieza, ya sea para los valores medios de sección (Ecuación 2) como para los valores máximos (Ecuación 3). El valor medio de la sección es representativo de una sección, y el valor máximo es representativo del rectángulo en el que queda inscrita la sección irregular con la gema.

### 4.3. Ensayo mecánico

El ensayo mecánico se llevó a cabo de acuerdo a la norma EN 408 con el objeto de determinar la capacidad portante a través del momento de rotura.

En el caso de las vigas sin gema (SG), la colocación de las piezas en el puente de ensayo fue aleatoria. Las vigas con gema (CG) también se colocaban aleatoriamente pero teniendo en cuenta que la mitad de la muestra debía ensayarse con la gema en el borde comprimido, colocada hacia arriba según la disposición de ensayo, y la otra mitad con la gema colocada hacia abajo y en el borde traccionado (Fig. 3 y Fig. 4).



Figura 3 - Ensayo de pieza con la gema en el borde traccionado

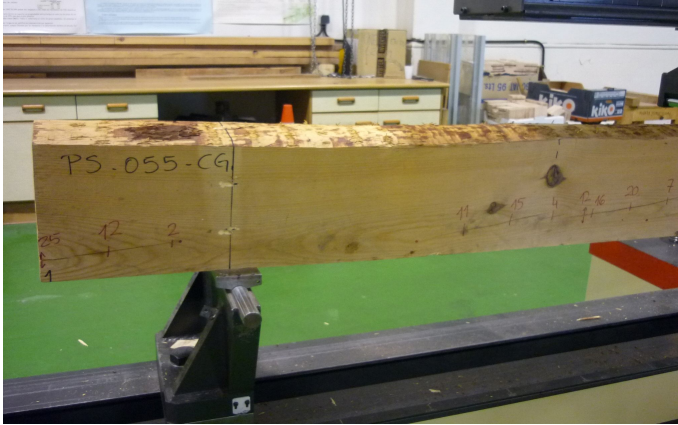


Figura 4 - Ensayo de pieza con la gema en el borde comprimido

En el caso de las piezas sin gema (SG), el valor de resistencia a flexión o tensión de rotura se obtuvo directamente a partir del momento flector y del módulo resistente de la sección rectangular en la zona de rotura.

En las piezas con gema (CG) el valor de la tensión de rotura podría obtenerse a partir del momento flector y de un módulo resistente que, en la sección irregular, es difícil de determinar de manera precisa. Se ha analizado la tensión de rotura de estas piezas a partir del módulo resistente de una sección rectangular equivalente con la misma anchura ( $b$ ) y con diferentes estimadores de la altura ( $h$ ) basados en las mediciones realizadas.

Los estimadores más representativos de la altura de la sección en relación con la capacidad resistente de las piezas son los relacionados con la sección en la que se produjo la rotura. Por ello se han determinado los valores medios de dichas dimensiones en el entorno de la rotura, considerando como entorno de la rotura un tramo de 60 cm a cada lado del punto origen de la rotura. De acuerdo a esa zona, los estimadores de la altura de la sección con los que se ha calculado la tensión de rotura son los siguientes:

- $h_{\text{med rot}}$  altura media de la sección en el tramo de rotura de las piezas con gema (CG) y de las piezas sin gema (SG) en la zona de rotura.
- $h_{\text{max rot}}$  valor medio de las alturas máximas ( $h_{\text{max}}$ ) de las piezas con gema (CG) en la zona de rotura

En los casos en los que la rotura se produjo fuera del tercio central se adoptó el valor del momento flector correspondiente a la zona de rotura.

## 5. Análisis de resultados

Los valores medios de tensión de rotura obtenidos mediante los ensayos para todas las piezas se resumen en la Tabla 2. En dicha tabla se expresan las tensiones de rotura ( $\sigma_r$ , en  $\text{N/mm}^2$ ) para los diferentes valores de altura de la sección que han sido considerados ( $h$ , en mm):


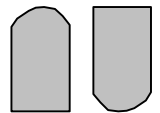
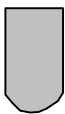

Lote de piezas		Nº de piezas	Sección considerada	Altura de la sección h (mm)	Tensión de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación
Sin gema (SG)		116	150 x h <sub>med rot</sub>	195	41,2	27,78
Con gema (CG)		102	150 x h <sub>med rot</sub>	215	38,1	34,23
			150 x h <sub>max rot</sub>	225	35,1	34,29
(CG) gema en el borde traccionado		51	150 x h <sub>med rot</sub>	216	43,9	30,03
			150 x h <sub>max rot</sub>	226	40,4	38,83
(CG) gema en el borde comprimido		51	150 x h <sub>med rot</sub>	214	32,2	31,04
			150 x h <sub>max rot</sub>	224	29,9	32,04

Tabla 2. Resultados de los ensayos y tensión de rotura para cada lote.

En estos resultados se compararon los valores de la tensión de rotura de una sección rectangular con los valores para piezas con gema, estos últimos calculados a partir la altura media de la zona de rotura ( $h_{med\ rot}$ ) y de la altura máxima de la zona de rotura ( $h_{max\ rot}$ ). La altura máxima permite calcular la resistencia de una sección equivalente al rectángulo que inscribe la sección con gema.

Con estos datos se realizó una primera comparación de la resistencia alcanzada en el ensayo mecánico y calculada en base a las alturas media y máxima de la zona de rotura ( $h_{med\ rot}$  y  $h_{max\ rot}$ ). Se compararon dos casos: piezas sin gema (SG) y piezas con gema (CG). Como resultado se observa que las piezas sin gema alcanzan una resistencia mayor, con una diferencia estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 95 %. Esta diferencia es más clara cuando se estima la tensión de rotura a partir de los valores de altura máxima de la sección ( $h_{max}$ ). (Fig. 5)

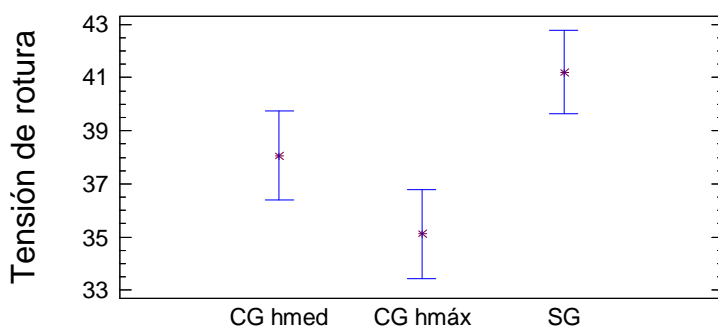


Figura 5 - Gráfico de medias para la tensión de rotura (N/mm<sup>2</sup>) en piezas con gema y su altura media (CG hmed), con gema y altura máxima (CG hmax) y piezas sin gema (SG)

Una vez analizada esta comparativa se valoró el interés en diferenciar la posición de la gema, y se realizó el mismo análisis de varianza para vigas con gema en el borde comprimido (CGC), vigas con gema en el borde traccionado (CGT) y vigas sin gema (SG). Esta comparación se llevó a cabo con la tensión obtenida a partir de los valores de altura máxima de la sección ( $h_{max}$ ) (Fig. 6) y con los obtenidos a partir de la altura media ( $h_{med}$ ) (Fig. 7).



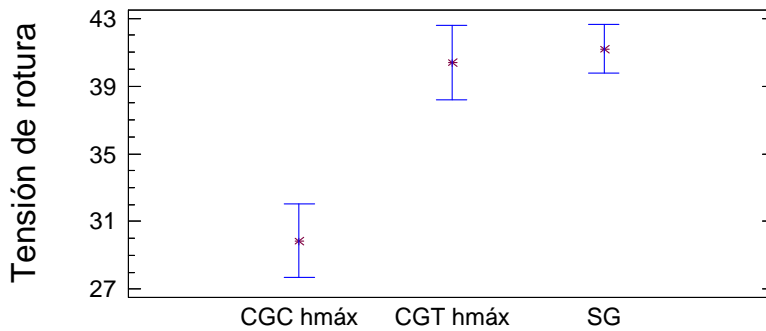


Figura 6 - Gráfico de medias para la tensión de rotura ( $N/mm^2$ ) en piezas con gema en el borde comprimido (CGC hmax), con gema en el borde traccionado (CGT hmax) y piezas sin gema (SG)

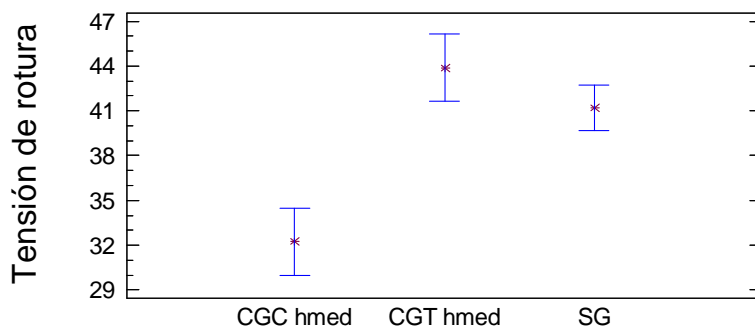


Figura 7 - Gráfico de medias para la tensión de rotura ( $N/mm^2$ ) en piezas con gema en el borde comprimido (CGC hmed), con gema en el borde traccionado (CGT hmed) y piezas sin gema (SG)

En ambos casos se pueden diferenciar estadísticamente dos grupos para un nivel de confianza del 95%. Un grupo corresponde a las vigas con gema en el borde comprimido, en el que se observan resistencias más bajas, y el otro grupo es el formado por las vigas sin gema junto con las vigas con gema en el borde traccionado. Dentro de este segundo grupo no se detectan diferencias significativas entre las dos muestras.

## 6. Conclusiones

La indeterminación de la altura de la sección en una pieza de madera que trabaja a flexión puede soslayarse de manera práctica asignando un canto o altura de la sección ( $h$ ) igual al valor medio de la altura máxima del tramo del tercio central o de la zona de rotura. La sección equivalente así considerada constituye un rectángulo en el que queda inscrita la sección real de la pieza, que es irregular y con gemas. En este supuesto pueden extraerse las conclusiones que se describen a continuación.

La presencia de gemas puede ser considerada como un factor de forma de la sección que con carácter general sí afecta a la resistencia de las piezas sometidas a flexión, apreciándose una disminución de la resistencia de las piezas con gema frente a las piezas escuadradas.

Sin embargo, la posición de las gemas en la pieza resulta determinante. Cuando la gema se encuentra en el borde comprimido se produce una clara disminución de la resistencia respecto a las secciones escuadradas. En el caso de que la gema se encuentre en el borde traccionado no se aprecia esta disminución de la resistencia.

A efectos prácticos, en la norma de clasificación visual no es posible determinar si la gema de piezas sometidas a flexión va a estar colocada en el borde traccionado o en el borde comprimido,

por lo que no es posible incluir especificaciones diferentes. En atención a esta circunstancia cabría la posibilidad de incluir en la norma una aclaración al respecto por si el suministrador de madera y el cliente pueden llegar a un acuerdo y aceptar la presencia de gemas, de la misma manera que se hace con los defectos por alabeo.

En el caso de estructuras existentes, la presencia y magnitud de las gemas, así como su posición, pueden conocerse con precisión. Una medida simplificada de la dimensión de la pieza se puede llevar a cabo a través de la anchura y de la altura del rectángulo que inscribe la sección con gemas. Si la gema se encuentra en el borde traccionado, aun en el caso extremo de una gema afectando a todo el canto de la pieza, no supone una pérdida de resistencia frente a la resistencia de una sección rectangular completa con las mismas dimensiones. Si la gema se encuentra en el borde comprimido debe considerarse una pérdida de resistencia que, o bien se somete a las especificaciones de la norma de clasificación visual, o bien se determina mediante un factor de forma que tenga en cuenta la geometría irregular de la sección.

### Agradecimientos

Proyecto de Investigación BIA2006-14272. Influencia de algunos defectos en las propiedades mecánicas de la madera de gran escuadría para uso estructural: fendas de secado y defectos de aserrado. Ministerio de Educación y Ciencia, Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004 - 2007. Universidad Politécnica de Madrid.

Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y Alimentarias, INIA. Laboratorio de Estructuras de Madera.

### Referencias Bibliográficas

EN 408. "Estructuras de madera. Madera aserrada y madera encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas". (Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties).

UNE 56544. "Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Maderas de Coníferas".

Fernández-Gofín, J.I.; Díez-Barra, M.R.; Hermoso, E.; Mier, R. (2007). "Mechanical characterization of visually classified small-diameter lario pine round timber". *Spanish Journal of Agricultural Research*, 5 (3), 304-311.

Vestøl G.I.; Høibø O. (2010). "Bending strength and modulus of elasticity of squares with wane as compared with round timber of Scots Pine (*Pinus sylvestris*)". *Forest Product Journal*. Vol. 60, n1.

Esteban, M. (2003). "Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera de conífera" (Determination of the load carrying capacity of large cross section structural coniferous timber on existing structures). Doctoral Thesis. Universidad Politécnica de Madrid, ETS de Ingenieros de Montes. 365 p. PDF file: <http://oa.upm.es/1404>.

Arriaga, F.; Esteban, M.; Argüelles, A.; Bobadilla, I.; Íñiguez, G. (2007) Efecto de las gemas en la resistencia a flexión de piezas enterizas de madera" (The effect of wanes on the bending strength of solid timber beams. *Materiales de Construcción*. Mater Construcc., vol. 57, nº 288, pp. 61-76.

Mateo, R. (2005) "Análisis de la influencia de las fendas en la capacidad resistente de piezas de madera" (Analysis of influence of fissures in load carrying capacity of timber pieces). Proyecto Fin de Carrera. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

Esteban, M.; Arriaga, F.; Iniguez, G.; Bobadilla, I.; Mateo, R. (2010) "Influencia de las fendas en la resistencia de la madera estructural" (The effect of fissures on the strength of structural timber). *Materiales de Construcción*. Mater Construcc., Vol. 60, nº 299 (2010), pp 115-132. ISSN: 0465-2746. eISSN: 1988-3226. doi: 10.3989/mc.2010.48208.