



Received: 05-09-2015
Accepted: 21-09-2015

Vigas de pino silvestre sometidas a flexión: influencia de defectos y singularidades. Wild pine beams subjected to bending: influence of defects and singularities.

Pilar de la Rosa^a, Alfonso Cobo^b, Maria de las Nieves González^c

^aDpto. Construcciones Arquitectónicas y su Control, UPM (pilar.delarosa@upm.es), ^bDpto. Tecnología de la Edificación, UPM (alfonso.cobo@upm.es), ^cDpto. Construcciones Arquitectónicas y su Control (mariadelasnieves.gonzalez@upm.es)

Resumen— En este trabajo se realiza un estudio experimental del comportamiento de dieciocho vigas de madera aserrada para uso estructural, de dimensiones 155x75x1090mm. La madera empleada ha sido de pino silvestre de Valsaín. Los ensayos se han realizado en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Escuela Técnica Superior de Edificación de Madrid. El objetivo del trabajo es el análisis del comportamiento a flexión de las piezas ensayadas teniendo en cuenta de los defectos y singularidades que presentan, realizando un estudio de la influencia de éstos. Se han ensayado dieciocho piezas en total, de las cuales nueve se colocaron en posición plana y las otras nueve de canto. Antes de proceder a los ensayos, la muestra ha sido clasificada según la norma UNE 56544 de clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural, determinándose la calidad estructural de cada pieza y la clase resistente teniendo en cuenta que la especie de la madera es pino silvestre. Se identifican las singularidades y defectos que presenta cada una de las piezas y se mide la humedad, el peso y dimensiones de éstas. En las conclusiones se presentan los resultados del análisis realizado, comparando los datos de los ensayos con las características de las piezas, determinando la influencia de la presencia de defectos y las características de las piezas con sus propiedades mecánicas.

Palabras clave—Madera estructural; vigas; defectos; singularidades; flexión.

Abstract- This paper presents an experimental study of the behavior of 18 timber beams for structural use of 155x75x1090mm dimensions. The origin of the wood is Valsaín sawmill. The tests were performed at the Laboratory of Construction Materials at the University School of Technical Architecture. The objective of this work is the analysis of flexural behavior of test pieces according to the defects and singularities, carrying out an analysis of their influence. 18 pieces have been tested, of which 9 were placed in a flat position, and the other 9 were placed in edge position. Before testing, the samples were classified according to UNE 56544 visual grading of sawn timber for structural use, determining the structural quality of each piece and the strength class. Singularities and defects found in each one of the pieces, moisture, weight and dimensions are measured and identified. The results of the analysis are presented in the conclusions, comparing the test data with the characteristics of the beams, determining the influence of the presence of defects and the characteristics of the timber beams with resistance in tests.

Index Terms— Structural wood; beams; defects; singularities; bending.

I. INTRODUCCIÓN

LA MADERA es un material natural tradicionalmente utilizado en la ejecución de elementos estructurales. En las últimas décadas, su uso descendió considerablemente, siendo sustituido por otro tipo de materiales, como el acero o el hormigón armado. Algunos de los aspectos por los que en la actualidad el uso de la madera como material estructural no es frecuente, puede ser la falta de normativa o la falta de confianza de los técnicos que diseñan dichas estructuras. Por ello, es interesante avanzar en el conocimiento de la madera como material resistente (Arriaga et al, 2005), con el fin de contar cada vez con una normativa más eficiente y que permita optimizar al máximo el uso de la madera.

La madera es un material natural con una estructura interna formada por fibras longitudinales de celulosa y una matriz de lignina. Las fibras soportan las tracciones y la matriz las compresiones. Esto explica el diferente comportamiento del material a tracción y a compresión (Connors et al, 1992), siendo su comportamiento a tracción elástico lineal y elástico plástico a compresión. En el presente trabajo se analiza la capacidad de carga de la madera a flexión (Campos, B, 1991; Esteban, M., 2010).

II. METODOLOGÍA

En este apartado se presenta el procedimiento seguido para la realización del trabajo experimental.



Fig. 1. Medición de un nudo en el proceso de clasificación visual.

En primer lugar se tomaron las dieciocho piezas y se clasificaron según la norma UNE-56544 (figura 1). Una vez obtenida la clasificación visual correspondiente a cada pieza

se determinó la clase resistente, según la norma UNE-338, de clases resistentes.

Para continuar con la identificación de las piezas, se midieron sus dimensiones: escuadría y longitud, se pesaron y se calculó su densidad.

El contenido de humedad se midió tomando seis trozos de la misma madera y desecándola en estufa eléctrica hasta peso constante. La humedad media obtenida fue del 19%, lo que indica que se puede considerar madera seca y por tanto aplicarle la norma UNE-56544 con los valores correspondientes a la madera seca.

III. DEFECTOS Y SINGULARIDADES

La norma de clasificación visual (UNE-56544) es de aplicación en vigas colocadas de canto, y establece diferentes criterios para las de canto mayor que 70mm (como es el caso) y las de canto menor que 70mm. En este trabajo se han considerado los defectos y las singularidades que presenta la norma, tanto en las vigas planas como en las de canto. Una

Cara superior



Canto frontal



Cara inferior



Canto posterior



Testa izda. Testa dcha.



Fig. 2. Detalle de las caras un la vigas 10 ensayada en posición plana.

vez medidos dichos aspectos se estudia la relación entre éstos y las propiedades mecánicas obtenidas en los ensayos. Los defectos que se van a analizar, y que contempla la norma para

Luis de Pereda Fernández. es Arquitecto y director de proyectos de la empresa ENERES, C/ Apolonio Morales, 29 28036 Madrid. (e-mail: luisdepereda@eneres.es).

TABLA I
VALORACIÓN DE DEFECTOS Y SINGULARIDADES DE LAS VIGAS PLANAS.

<i>Viga</i>	<i>Nudos I</i>	<i>Nudos II</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Inclinación de la fibra (%)</i>	<i>Ancho de anillos (mm)</i>
2SRP	50	44	514,69	3,6	1,6
4SRP	0	0	472,99	0	2,6
10SRP	208	145	547,16	7,0	4,0
21SRP	125	71	524,87	1,0	3,4
24SRP	0	0	504,18	7,4	3,0
31SRP	0	0	575,24	7,4	3,4
46SRP	187	156	529,75	0	3,0
99SRP	158	210	514,15	0	4,0
100SRP	72	66	703,96	3,8	2,6

la determinación de la clasificación de las piezas son los nudos. Mientras que las singularidades consideradas son: la inclinación de las fibras, la anchura máxima de los anillos de crecimiento y como propiedad de cada pieza la densidad.

Los nudos se miden con dos criterios distintos. Una primera forma ha sido considerando la dimensión de los nudos en la cara más desfavorable. El segundo criterio fue sumando la dimensión de los nudos presentes en el tercio central de las piezas.

Las imágenes de la figura 2 corresponden a la viga 10, en ella se pueden ver las cuatro caras de la pieza. En este caso, la pieza cuenta con nudos en el tercio central (canto frontal y cara inferior), y la cara más desfavorable es la inferior.

En el primer modo de medición de nudos, el valor correspondiente a esta viga sería el resultante de sumar todos los nudos pertenecientes al tercio central. Mientras que, según el método dos, el valor de los nudos sería el resultante de sumar la dimensión de los nudos de la cara inferior. En la tabla I se presentan los resultados de la aplicación de ambos criterios para la medición de nudos. También se muestran los valores de densidad, ancho de anillos de crecimiento e inclinación de la fibra de las vigas planas. En la tabla II se

indican los valores de los defectos y singularidades de las vigas de canto.

En el análisis de los resultados se estudia la relación entre estos valores y la carga de rotura alcanzada a flexión por cada viga.

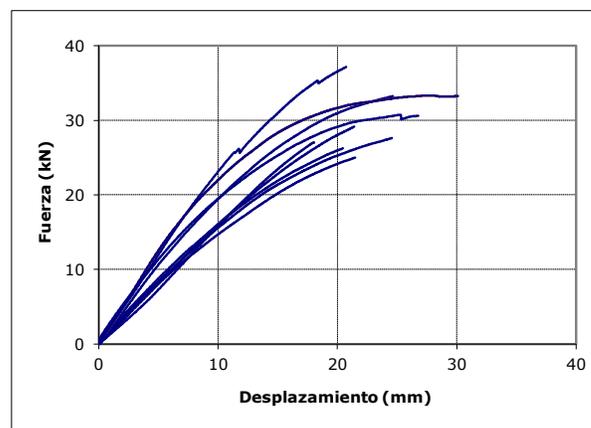


Fig. 3. Gráfico carga-desplazamiento de vigas planas.

TABLA II
VALORACIÓN DE DEFECTOS Y SINGULARIDADES DE LAS VIGAS DE CANTO.

<i>Viga</i>	<i>Nudos I</i>	<i>Nudos II</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Inclinación de la fibra (%)</i>	<i>Ancho de anillos (mm)</i>
3SRC	-	-	514,81	-	1,2
7SRC	167	100	505,83	7,4	6,0
17SRC	164	37	510,32	1,7	3,4
27SRC	-	-	558,93	16,0	2,2
28SRC	122	121	485,33	-	4,0
32SRC	-	-	508,74	-	2,8
45SRC	15	-	633,34	3,3	1,2
97SRC	52	14	718,45	-	2,6
93SRC	13	-	658,84	2,5	1

IV. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Los datos resultantes de los ensayos se han representado mediante gráficos cargas-desplazamientos en las siguientes figuras. En la figura 3 se muestran los gráficos correspondientes a las vigas planas.

Según se observa en la figura 3, los valores de las cargas de rotura de las vigas planas se encuentran en un intervalo de entre 25 y 40 kN, y los desplazamientos entre 15 y 30mm.

Las vigas de canto presentan mayor variación que las planas en cuanto a los valores de las cargas de rotura alcanzadas por viga. En este caso, los valores de las cargas de rotura se encuentran entre 25 y 65kN, y los desplazamientos varían entre 20 y 50mm, aproximadamente.

A continuación, en la tabla III, se muestran los valores analíticos de las cargas de rotura de cada una de las vigas ensayadas, tanto planas como de canto, así como los desplazamiento correspondientes a dicha carga.

V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El estudio analítico de los resultados se realiza mediante un análisis estadístico que permite conocer la correlación entre la carga de rotura de las vigas y las distintas variables identificadas en las piezas: nudos, según los criterios de

valoración I y II, densidad, inclinación de las fibras y ancho de anillos.

De cada par de variables se ha calculado la covarianza y el coeficiente de correlación, obteniéndose los siguientes resultados mostrados en la tabla IV.

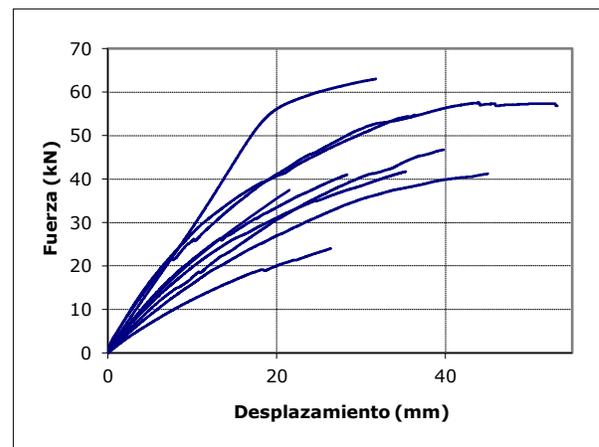


Fig. 4. Gráfico carga-desplazamiento de vigas de canto.

Los coeficientes de las vigas planas muestran diferentes grados de correlación dependiendo de la variable que se observe. La variable que mayor correlación presenta con la carga de rotura es la densidad, con un valor cercano a 0,70. Se

TABLA III
VALORES DE CARGA DE ROTURA Y DESPLAZAMIENTOS DE LAS VIGAS PLANAS Y DE CANTO.

<i>PLANAS</i>	<i>Carga (kN)</i>	δ (mm)	<i>CANTO</i>	<i>Carga (kN)</i>	δ (mm)
<i>2SRP</i>	25,02	21,55	<i>3SRC</i>	63,52	31,78
<i>4SRP</i>	33,07	30,24	<i>7SRC</i>	27,53	26,51
<i>10SRP</i>	26,24	20,48	<i>17SRC</i>	39,66	24,85
<i>21SRP</i>	27,61	24,56	<i>27SRC</i>	42,01	29,10
<i>24SRP</i>	30,60	26,79	<i>28SRC</i>	44,84	45,29
<i>31SRP</i>	33,23	24,63	<i>32SRC</i>	42,88	25,67
<i>46SRP</i>	29,17	21,44	<i>45SRC</i>	49,61	39,80
<i>99SRP</i>	27,02	18,04	<i>97SRC</i>	55,49	36,40
<i>100SRP</i>	37,14	20,74	<i>93SRC</i>	57,52	53,29

aprecia correlación moderada entre la presencia y dimensión de los nudos y la carga de rotura. En este caso la correlación es inferior que en el caso de la densidad. En cuanto a la inclinación de la fibra y los anillos de crecimiento, no se observa correlación alguna.

Los valores correspondientes a las vigas de canto no presentan correlación entre la carga de rotura y las variables estudiadas.

TABLA IV
VALORES ESTADÍSTICOS DE CORRELACIÓN ENTRE LA CARGA DE ROTURA Y LAS SINGULARIDADES DE LAS VIGAS

CARGA DE ROTURA	Coefficiente de correlación	
	Vigas planas	Vigas de canto
Nudo I	0,55	0,05
Nudos II	0,51	0,02
Densidad	0,68	0,15
Inclinación de las fibras	0,02	0,00
Ancho de anillos	0,02	0,00

VI. CONCLUSIONES

De las dieciocho vigas ensayadas, únicamente se aprecia correlación entre la densidad y la carga de rotura de las piezas planas. Ésta correlación es de signo positivo, lo que indica que a mayor densidad mayor carga de rotura alcanzada.

En cuanto a las variables de inclinación de las fibras y ancho de los anillos, la correlación es nula, tanto en vigas planas como de canto.

Los resultados relativos a la presencia de nudos indican que sería necesario realizar mayor número de ensayos, tanto para confirmar la correlación de la densidad con la carga de rotura, como para comprobar la existencia de correlación entre la presencia de nudos y la capacidad de carga de rotura. Los valores, en el caso de las vigas planas, son de signo positivo, es decir, a mayor número de nudos mayor carga de rotura. Por ello, se deberían realizar más ensayos para alcanzar conclusiones precisas al respecto.

En el caso de las vigas de canto no existe correlación entre la carga de rotura y la presencia y dimensiones de los nudos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Departamento de Tecnología de la Edificación de la EUATM-UPM y al Laboratorio de Materiales de Construcción del Departamento

de Construcciones Arquitectónicas y su Control, de la EUAT-UPM por su apoyo para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

Arriaga, F.; Esteba, M., Relea, E. "Evaluación de la capacidad portante de piezas de gruesa escuadría de madera en estructuras existentes". *Materiales de construcción*, vol. 55, nº 280, 2005.

Campos, B. A. (1991). "Uso de la clasificación estructural mecánica y visual para predecir la zona de ruptura de la madera sometida a compresión". *Ciencia e Investigación Forestal*. Vol. 5, núm.1.

Connors, T. E.; Medvecz, P. J. (1992). "Wood as a bimodal

material". *Wood Science and Technology*, 24, 413-423.

CTE (2006). Documento básico de seguridad estructural: Madera. Ministerio de Fomento. España.

Esteban, M. et al. (2010). "Influencia de las fendas en la resistencia de la madera estructural". *Materiales de Construcción*. Vol. 60, 299, 115-132.

Eurocódigo 5 (1995). Proyecto de estructuras de madera. AENOR, Madrid.

UNE 56544 (2007). Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas. AENOR, Madrid.

UNE-EN 338 (2010). Madera estructural. Clases resistentes. AENOR, Madrid.