

INFLUENCIA DE LA ANCHURA DEL ANILLO DE CRECIMIENTO EN LA DENSIDAD Y OTRAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DE LA MADERA ESTRUCTURAL DE DIVERSAS ESPECIES

J. I. FERNANDEZ-GOLFIN

M. R. DIEZ

Centro de Investigación Forestal (CIFOR-INIA)
Apdo. 8.111. 28080 Madrid. España

RESUMEN

Se analiza la calidad predictiva de la anchura del anillo sobre la densidad y propiedades a flexión de la madera estructural (50 × 150 × 3.200 mm) de diferentes especies de crecimiento rápido (*Populus* sp., *Pinus* sp., *Eucalyptus globulus*). Se discute la utilización alternativa de la densidad como criterio predictivo de la calidad, en sustitución de la anchura media del anillo de crecimiento.

La anchura del anillo no explica suficientemente la variabilidad ni de la densidad ni de las propiedades a flexión de la madera estructural, por lo que su utilidad en la predicción de la calidad queda en entredicho.

PALABRAS CLAVE: Anillo de crecimiento
Densidad
Propiedades físico-mecánicas
Pinus sp.
Eucalyptus globulus
Populus sp.

INTRODUCCION

La norma EN 518 «Structural Timber-Grading-Requirements for visual strength grading standards» del Comité Europeo de Normalización (CEN), que establece los criterios generales que deben regir las normas nacionales de clasificación visual de la madera estructural, considera en su apartado 5.3 que la norma de clasificación deberá establecer clasificaciones en función de la densidad o de la anchura del anillo.

Esta exigencia se basa en el criterio ampliamente establecido de que la anchura del anillo es un indicador de la densidad y de la calidad mecánica de la madera.

El criterio de penalizar por la anchura máxima del anillo (coníferas) figura en gran cantidad de normas europeas (DIN 4074-1-1989, INSTA 142-1994, NFB-52-001-4, BS 4978, etc.).

Recibido: 30-9-94

Aceptado para su publicación: 9-12-94

Por contra, existen numerosos trabajos que cuestionan seriamente la fiabilidad predictora de la anchura del anillo, especialmente en piezas de tamaño estructural de especies de crecimiento rápido de los géneros *Pinus* y *Populus*, así como en *Eucalyptus globulus* y, al menos, en ciertas procedencias de *P. sylvestris*.

Debe tenerse en cuenta que el empleo de un buen predictor debe generar funciones cuyos parámetros tengan errores de estima pequeños pero también explicar un porcentaje elevado de la variabilidad de las características sometidas a predicción (obtención de elevados coeficientes de determinación R^2 en ajustes por mínimos cuadrados).

Almeida Fonseca (1989), sobre procedencias portuguesas de *Pinus pinaster* obtiene coeficientes de determinación del 3,1 p. 100 al estimar la densidad por ajuste lineal con la anchura de anillo. Como el coeficiente desciende al 0,2-0,5 p. 100 al eliminar la madera juvenil, el autor sugiere descartar la anchura de anillo como criterio de clasificación de la madera.

El Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de Portugal (1990), con procedencias portuguesas de *Pinus pinaster* y haciendo ajustes por regresión lineal, obtuvo Coeficientes de determinación de 13 p. 100-18 p. 100 de la densidad en función de la anchura del anillo y coeficientes del 37 p. 100 al 48 p. 100 del Módulo de Rotura (MOR) y Módulo de Elasticidad (MOE) en función de la densidad.

De ambos trabajos se deduce que, en *P. pinaster*, la densidad presenta una calidad predictiva superior de las propiedades físico-mecánicas que la anchura del anillo.

Ortiz *et al.*, (1990), incorporando las dos subespecies de *P. pinaster* (Atlántica y Mediterránea), detectó que las grandes diferencias de la anchura de anillo de ambas subespecies (5,3 y 2,9 mm) no guardaban relación con las escasas diferencias observadas en la densidad (518 kg/m³ y 530 kg/m³), ni con los módulos de resistencia y de elasticidad.

Blanchon (1990), trabajando con procedencias francesas de *P. pinaster* (marítimo), obtiene resultados algo mejores ($R^2 = 20$ p. 100) cuando estudia las propiedades a flexión en función del efecto combinado de la densidad y la anchura del anillo.

Penetra Cerveira Louzada (1991) con *P. pinaster* portugués infiere que la anchura del anillo depende de la procedencia mientras que la densidad depende de las características genéticas de cada individuo, lo que reafirma la escasa relación entre la densidad y la anchura del anillo.

Maddern Harris y Cown (1991), analizando los datos de Cown y Parker de 1978, explican, en *P. radiata* de Nueva Zelanda, la débil correlación entre la anchura del anillo y la densidad, por la relativa similitud entre los valores de la densidad de la madera de verano y de primavera (550 y 350 kg/m³). De acuerdo con esto, de grandes variaciones en la anchura del anillo no deben esperarse sino reducidas variaciones en la densidad.

La situación cambia radicalmente cuando se trabaja con probetas de pequeñas dimensiones y libres de defectos. Así Walford (1991) sobre *P. radiata* obtiene coeficientes de determinación entre el 26 p. 100 y el 39 p. 100 cuando estudia la densidad y propiedades a flexión en función de la anchura del anillo.

Cuando la variable independiente es la densidad, los coeficientes de determinación son siempre mayores del 55 p. 100 en numerosos trabajos (Walford, 1991; López de Roma *et al.*, 1991 sobre *P. radiata*; Gutiérrez Oliva, 1992 en *Populus* sp.), en la predicción de las propiedades a flexión.

Wilkes (1984) sobre seis especies de eucalipto (*E. albens*, *bancroftii*, *dealbata*, *goniocalyx*, *macrorhyncha*, *sideroxylon*) concluyó que el ritmo de crecimiento no influye significativamente sobre la densidad de la madera libre de extractos.

En resumen, el uso de la anchura del anillo como criterio de calidad es altamente cuestionable en maderas de tamaño estructural, al menos en las especies estudiadas.

MATERIAL Y METODOS

Sobre probetas de tamaño estructural ($50 \times 1500 \times 3.200$ mm) de *Pinus pinaster*, *P. radiata*, *P. sylvestris*, *Populus* sp. y *Eucalyptus globulus*, se efectuaron ensayos de acuerdo con ISO 8375, expresándose los resultados de acuerdo con EN 384.

Las probetas proceden de un número variable de árboles en cada una de las especies estudiadas. El número de estas piezas y de los fustes que las originaron se exponen en la Tabla 1.

De cada pieza ensayada se determinó directamente la anchura media de anillos, la densidad, el MOR y el MOE, con la excepción de *E. globulus* en el que no se midió la anchura media del anillo de crecimiento dada la enorme dificultad práctica de hacerlo visualmente.

Todas las maderas de las tres coníferas ensayadas (*P. pinaster*, *P. radiata*, *P. sylvestris*) correspondían a una misma calidad (CF18), de acuerdo con la norma NF B 52-001-4. Para la madera de *E. globulus* ensayada, dada la inexistencia de normas de clasificación, no se aporta su calidad oficial, habiéndose agrupado en una clase única.

La Tabla 1 recoge las características de las poblaciones y los valores medios obtenidos para cada una de las propiedades.

Sobre los datos obtenidos en los ensayos citados se efectuaron ajustes por mínimos cuadrados, como regresión lineal simple o múltiple, siendo las variables dependientes densidad, MOR y MOE cuando la independiente era la anchura de anillos y MOR y MOE cuando la independiente era la densidad o conjuntamente anchura de anillo y densidad.

Los resultados de estos análisis se exponen en la Tabla 2.

Para comprobar si los coeficientes de determinación obtenidos (Tabla 2) mejoraban con la homogeneidad en el crecimiento del material empleado, se dividió el material procedente de *P. sylvestris* en dos grupos diferentes. «Clase 1» correspondiente a un material altamente homogéneo (anchura de anillos relativamente constante en toda la pieza) y «Clase 2» a un material altamente heterogéneo (anchura de anillos variable en la pieza). Los resultados de este análisis se exponen en la Tabla 3.

El hecho de que las piezas de *P. sylvestris* procedieran de experiencias de claras facilitó la existencia de las dos clases de piezas en función de la anchura de anillos (homogéneos y heterogéneos).

TABLA 1
CARACTERISTICAS DE LAS POBLACIONES
Population data

Especie	N. plantas N. árboles	Árboles de precultivo		Anchura de tallo		Resistencia a hojuelas (MOR)		Módulo Elás- tidad (MOE)		Densidad al 12%	
		Edad media (años)	Dámetro medio (Diam.) (cm)	X (mm)	CV (%)	X (kg/cm ²)	CV (%)	X (kg/cm ²)	CV (%)	X (kg/m ³)	CV (%)
<i>Populus sp. (x euroamericana)</i>	309/40	12	31	13,0	39,4	379,5	21,0	77.979	20,0	383	11,3
<i>Pinus radiata</i>	312/78	25	39	6,9	24,9	409,4	37,7	109.466	22,4	516	11,2
<i>Pinus pinaster</i>											
Total	526/70	51	36	4,5	46,1	389,1	46,1	102.363	36,4	524	12,7
Atlántica	351/52	42	40	5,3	33,8	388,7	45,2	101.842	28,5	518	12,3
Mesogensis	175/18	67	29	2,9	60,2	365,2	45,6	92.286	39,0	530	12,7
<i>Pinus sylvestris</i>	128/20	69	33	3,2	32,8	367,3	38,2	86.504	21,2	471	8,7
<i>Eucalyptus globulus</i>	115/25	25	48	-	-	827,5	27,8	219.980	26,5	836	9,9

TABLA 2
COEFICIENTES Y PENDIENTES DE LAS REGRESIONES
Determination coefficients and slopes of regressions

Variable dependiente Variable dependiente (C.V.) Especie	A. altura del anillo						Densidad							
	R ²	b	MOR	MOR	MOR	MOR	R ²	b	MOR	MOR	MOR	MOR		
Populus sp. (x euroamericana)	9,81	-2,63E-3	2,83	-2,83	45,92	-2,054	0,54	146*	12,31	126,567	2,2	-2,71 (A) 45,3 (D)*	47,7	-1,908 (A)
P. radiata	12,0	-11,9	4,12	-18,3	13,59	-5,284	31,86	1,50	45,13	284	31,86	-0,58 (A)* 1,50 (D)	47,17	-2,184 (A)
P. pinaster Total	7,62	-8,77E-3	4,97	-19,1	7,03	-4,191	37,22	1,633	29,78	269,736	37,30	-5,1 (A)* 1,589 (D)	30,94	-1,960 (A) 252,817 (D)
Atlántica	7,09	-9,45E-3	8,49	-28,5	23,76	-7,871	39,67	1,736	38,92	283,851	40,99	-13,1 (A) 1,639 (D)	49,75	-5,585 (A) 241,956 (D)
Mediterránea	9,8	-1,5E-2	5,59	-30,3	12,36	-8,193	30,83	1,469	19,68	213,753	30,33	-8,89 (A)* 1,412 (D)	23,67	-5,495 (A) 178,181 (D)
P. sylvestris	3,03	-6,87*	6,89	-3,6	7,33	-489	18,27	0,15	8,47	13,3	20,67	-2,68 (A) 0,14 (D)	12,09	-410 (A) 11,5 (D)
E. globulus	-	-	-	-	-	-	34,94	0,17	36,22	43,4	-	-	-	-

(A) Anillo, Growth rate
 (D) Densidad, Density
 * No significativo, No significative

TABLA 3
COEFICIENTES DE DETERMINACION Y PENDIENTES
POR CLASES HOMOGENEAS
R² and slopes per homogeneous growth rate classes Pinus sylvestris

Variable independiente	Variable dependiente	Clase 1		Clase 2		Total R ²
		R ²	b	R ²	b	
Anchura anillo	Densidad	11,88	-11,2	0,13	1,85*	3,03
	MOR	13,16	-4,48	0,78	-1,46*	6,89
	MOE	16,11	-631	0,62	-178*	7,33
Densidad	MOR	17,98	0,16	20,38	0,15	18,27
	MOE	9,36	14,85	6,80	11,6	8,47
Anchura anillo, Densidad	MOR	2079	-3,04 (A) 0,13 (D)	18,63	1,74 (A)* 0,15 (D)	20,67
	MOE	16,65	528 (A) 9,23 (D)*	4,22	-200 (A)* 11,8 (D)	12,09

(A) Anillo, *Growth rate*(D) Densidad, *Density** No significativo, *No significative*

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 2 se recogen los valores de las pendientes de regresión (b) y de los coeficientes de determinación (R²) de los ajustes de las regresiones lineales efectuadas para todas las especies y variables en estudio.

En primer lugar, destaca que, cuando se usa la anchura del anillo como predictor de la densidad, se explica muy poca de la variabilidad encontrada en la densidad (siempre menor del 13 p. 100). El hecho de que las pendientes difieran significativamente de cero (salvo en *P. sylvestris*) no mejora la calidad de la predicción.

Lo anterior resulta ya suficiente para confirmar lo inapropiado de las clasificaciones basadas en la anchura del anillo. Por otra parte, este hecho vuelve a confirmarse cuando las variables dependientes son el MOR y el MOE y las independientes la densidad o la anchura del anillo.

Con la excepción de *Populus* sp. (frondosa de anillo difuso), en todas las especies la densidad explica mejor (y a veces en varios órdenes de magnitud) la variabilidad encontrada para MOR y MOE, permitiéndonos concluir, una vez más, que la densidad es un mejor estimador de la calidad que la anchura de anillo.

En el caso de las estimas conjuntas, apenas se mejora el valor del coeficiente de determinación con la excepción, de nuevo, de *Populus* sp. Por tanto, entendemos que la anchura de anillo no es un buen estimador de la calidad mecánica de una madera.

Esta discrepancia con el criterio, casi generalmente establecido en el Norte de Europa, de considerar a la anchura del anillo como un buen parámetro clasificador, quizá pueda ser explicada con los datos presentados en la Tabla 3.

Los datos de la Tabla 3 corresponden a los obtenidos con *P. sylvestris*, agrupando las piezas en dos tipos de anchura de anillos, homogéneos (Clase 1) y heterogéneos (Clase 2).

En piezas de anchura de anillo homogéneo (Clase 1), los coeficientes de determinación mejoran sustancialmente los obtenidos para el conjunto de datos (columna total), aproximándose a las estimas obtenidas con la densidad como variable independiente.

Para el caso de piezas con anillos heterogéneos (Clase 2), la calidad de la estima es notablemente inferior cuando se usa la anchura del anillo pero no cuando se emplea la densidad. La estima conjunta en base a anchura de anillo y densidad no mejora la estima en ninguna de las dos clases.

Desde nuestro punto de vista, esta discrepancia con el criterio general puede explicarse por la existencia de situaciones de stress en el crecimiento más acentuadas en el Sur que en el Norte de Europa.

Si se tiene en cuenta que los equipos pioneros en la investigación sobre Tecnología de la Madera son, fundamentalmente, noreuropeos, es fácil suponer que las primeras y más empleadas normas de calidad mecánica de la madera provengan de dichas latitudes y correspondan a especies de crecimiento lento y homogéneo.

De acuerdo con esto la base científica que fundamenta las normas vigentes procede del empleo de una madera muy particular, caracterizada por anillos delgados y con una variabilidad interanual muy pequeña.

Con este material, al igual que ocurre con las probetas de pequeñas dimensiones, se obtendrían estimaciones de las propiedades a flexión y de la densidad bastante mejores que las arriba apuntadas.

Por contra, el material por nosotros estudiado se caracteriza por una variabilidad en la anchura del anillo enorme, por ser la precipitación anual el factor limitante del crecimiento, presentando éste una gran variabilidad interanual.

En *Populus sp.*, especie de cultivo en las riberas de los ríos, no existe esta restricción del crecimiento, motivo por lo cual su comportamiento se desvía del resto.

Todo lo anterior nos lleva a establecer las conclusiones que se citan en el apartado siguiente.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que pueden extraerse de los datos y análisis efectuados, son las siguientes:

1. Los orígenes de la variación en la densidad y las propiedades a flexión (MOR y MOE) de la madera de tamaño estructural, parecen guardar muy pobre relación con los de la anchura del anillo de crecimiento.
2. La anchura del anillo de crecimiento tiene una validez muy reducida en la predicción de la calidad mecánica de la madera.
3. Es posible incrementar el crecimiento sin merma significativa de la calidad mecánica de la madera obtenida. De acuerdo con esto, de la mejora genética y de la aplicación de correctas técnicas selviculturales orientadas al incremento de la producción no debe esperarse una merma significativa en la calidad mecánica de la madera.
4. En todos los casos, salvo en *Populus sp.*, es preferible el empleo de la densidad frente a la anchura del anillo, como variable predictiva de la calidad.
5. El uso conjunto de la anchura del anillo y de la densidad en la predicción de la calidad mecánica de la madera no mejora la predicción efectuada únicamente con la densidad (salvo en *Populus sp.*).

6. Para las especies y procedencias ensayadas se deduce que el considerar la anchura del anillo en las normas de clasificación visual de la madera estructural es inadecuado, debiéndose, en todo caso, hacer uso de la densidad.
7. La madera de estas especies y procedencias debe ser clasificada mediante normas que tengan en cuenta sus características de crecimiento y no haciendo uso de normas creadas para la clasificación de maderas de otras especies y/o procedencias. En este sentido el empleo de la anchura del anillo de crecimiento como factor delimitante de la calidad (impuesto por muchas normas de clasificación en Europa) no resulta sino una infundamentada barrera técnica a las maderas procedentes de especies de crecimiento rápido y/o procedentes de climas del Sur de Europa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los Dres. J. Ortiz Gutiérrez y A. Gutiérrez Oliva por la aportación de los datos mecánicos obtenidos con *P. radiata*, *P. pinaster* y *Populus* sp. y a D. T. Galán López y V. Sanchís Payá por su ayuda en la ejecución práctica de los ensayos.

SUMMARY

Influence of growth rate in density and mechanical properties of sawn timber

Mechanical quality of structural timber (50 mm × 150 mm × 3200 mm) is assessed by means of growth rates in different softwoods (*P. radiata*, *P. pinaster*, *P. sylvestris*), most of them fast growing species, and hardwoods (*Populus* sp. and *Eucalyptus globulus*) growing in Spain. The utility of using average density instead of growth rate is also assessed.

Growth rate did not appreciably influence the density and bending properties of timber, and so its utility of prediction of mechanical quality of timber is very low.

KEY WORDS: Growth rate
Density
Physico-mechanical properties
Pinus sp.
Eucalyptus globulus
Populus sp.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALMEIDA FONSECA F. M., 1989. Variação na madeira de *Pinus pinaster* Ait. UTAD ISBN. 972-669-075-07. 245 pp.
- BLANCHON J. L., 1990. Pin Maritime. CTBA Report. Departement Structure. Section Bois Français, 130 pp.
- GUTIERREZ OLIVA A., 1992. Proceedings of the 19th Session of the International Poplar Commission, Cap. 11.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, 1990. Standard Quality of *Pinus pinaster*. Nota técnica. 31 pp.
- LOPEZ DE ROMA A. *et al.*, 1991. Propiedades y Tecnología de la madera de Pino Radiata del País Vasco. Monografías INIA n.º 80, 243 pp.
- MADDERN HARRIS J., COWN D. J., 1991. Basic wood properties. In Kininmonth J. A., Whitehouse L. J., 1991. Properties and uses of New Zealand Radiata Pine, Vol. I: Wood Properties. FRI, ISBN-0-47301181-6, Cap. 6.

- ORTIZ *et al.*, 1990. Project MA2BCT91-0038 Final Report «Standard Quality of Pinus pinaster». 400 pp. (Unpublished).
- PENETRA CERVEIRA LOUZADA J. L., 1991. Variação nas componentes da densidade na madeira de Pinus pinaster. UTAD Serie Técnico-científica n.º 12.
- prEN 518, 1992. Structural Timber grading. Requirements for visual strength grading standards. European Committee for Standardization (CEN).
- WALFORD G. B., 1991. Mechanical properties. In Kininmonth J. A., Whitehouse L. J., 1991. Properties and uses of New Zealand Radiata Pine, Vol. I: Wood Properties. FRI, ISBN-0-47301181-6, Cap. 6.
- WILKES J., 1984. The influence of rate of growth on the density and heartwood extractives content of eucalypt species. Wood Sci. Technol. 18: 113-120.