

La regularidad en la anchura de anillos de crecimiento y su empleo en la clasificación visual de la madera para su asignación al sistema Europeo de clases resistentes

The regularity in the ring width and their use in the visual strength grading of timber for assignment to the European system of strength classes

Guillermo Riesco-Muñoz¹ <https://orcid.org/0000-0002-9830-7398>*

¹Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Lugo, España.

Este artículo es una versión ampliada y revisada por pares del trabajo presentado previamente en el III Congreso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción (CIMAD), celebrado en Madrid, España en junio 2024.

*Corresponding Author: guillermo.riesco@usc.es

Resumen:

La homogeneidad en la anchura de anillos de crecimiento de la madera se asocia a una mayor rigidez y resistencia mecánica del material. Por ello, conocer la homogeneidad de la anchura de los anillos sería útil en la clasificación visual de la madera aserrada con fines resistentes. Sin embargo, no está cuantificada la influencia de la homogeneidad en el comportamiento resistente de la madera. En este trabajo se analizó la dispersión de la variable anchura de anillos para determinar su valor predictivo sobre la resistencia y la elasticidad a flexión axial en vigas de madera de *Quercus robur* (roble europeo). Para realizar el estudio se talaron 26 robles adultos en Galicia (noroeste de España). Los fustes obtenidos fueron aserrados para obtener tablones, que fueron secados al aire y posteriormente fueron cepillados hasta obtener vigas de dimensiones nominales 2000 mm × 100 mm × 50 mm. En una muestra de 52 de dichas vigas se obtuvo el módulo resistente a flexión axial, el módulo elástico a flexión axial, la densidad y la humedad de la madera, así como el porcentaje de albura y la anchura de cada anillo de crecimiento en la sección transversal de cada viga. Las variables descriptivas de la homogeneidad de anillos en cuyo cálculo intervienen los datos de todos los anillos de la viga (desviación típica, varianza, rango intercuartílico) estaban más relacionadas con las propiedades mecánicas. Las piezas con anillos homogéneos presentaban un módulo elástico y una resistencia a flexión estática significativamente mayores, siendo la correlación más destacada la existente entre la varianza de la anchura de anillos y el módulo elástico a flexión ($R = -0,41^{**}$). No obstante, el valor de las correlaciones obtenidas no justifica la construcción de un modelo predictivo de la elasticidad o de la resistencia mecánica usando solo la homogeneidad de la anchura de anillos como variable predictora. Sin embargo, dado que el comportamiento mecánico se ve significativamente influenciado por la homogeneidad de los anillos, esta característica podría incorporarse en las normas de clasificación visual de la madera de roble con fines resistentes.

Palabras clave: Anatomía de la madera, anillo de crecimiento, clasificación visual de la

madera, densidad de la madera, módulo de elasticidad a flexión axial, propiedad mecánica, *Quercus robur*.

Abstract:

The homogeneity of wood growth ring width is associated with greater rigidity and mechanical strength of the material. Therefore, understanding ring width homogeneity would be useful for visually grading sawn wood for structural applications. However, the effect of homogeneity on mechanical performance of wood has not been quantified. In this study, the dispersion of the ring width was analyzed to assess its predictive value for elasticity and axial bending strength in *Quercus robur* (european oak) wood beams. To carry out the study, 26 adult oak trees were felled in Galicia (northwestern Spain). The stems obtained were cut and sawn to produce planks, which were air-dried and subsequently planned to produce beams with target dimensions 2000 mm × 100 mm × 50 mm. For a sample of 52 of these beams, we measured the axial bending strength, the elastic modulus in axial bending, the wood density and moisture content, as well as the percentage of sapwood and the width of each growth ring in the cross section. The descriptive variables of the ring homogeneity, calculated using data from all rings in each beam (standard deviation, variance, interquartile range), were more closely related to mechanical properties. Beams with more homogeneous rings exhibited significantly higher elastic modulus and axial bending strength, with the strongest correlation observed between ring width variance and axial bending elastic modulus ($R = -0,41^{**}$). However, the correlations observed do not justify developing a predictive model for elasticity or mechanical strength based solely on ring width homogeneity, although mechanical behavior is significantly influenced by ring homogeneity. Consequently, this characteristic could be incorporated into visual strength grading standards for oak wood.

Keywords: Wood anatomy, growth ring, visual grading of wood, wood density, elastic modulus in axial bending, mechanical property, *Quercus robur*.

Recibido: 31.07.2024

Aceptado: 10.11.2024

Introducción

La madera en rollo de roble europeo (*Quercus robur* L.) suele aserrarse en España para fabricar traviesas de ferrocarril, tabla para pavimentos, elementos de carpintería, elementos resistentes para edificación y otros productos con alto valor añadido. En términos generales es una madera

muy apreciada debido a su resistencia mecánica y durabilidad (Gutiérrez Oliva y Plaza Pulgar 1967, Jablonski *et al.* 1998, Van Acker *et al.* 1999). De hecho, la madera aserrada de roble con calidad estructural fue la segunda más demandada en España por proyectistas y prescriptores en 2022, solo por detrás de la madera de pino insigne (*Pinus radiata* D. Don) (López-Corralo 2022).

A nivel europeo, el consumo de esta madera es relativamente estable debido al interés que han mostrado arquitectos y diseñadores hacia su uso en construcción y en suelos, compensando la reducción en el consumo de dicha madera aserrada por parte de la industria del mueble. Sin embargo, el abastecimiento de esta especie de madera no está asegurado en Europa debido a la reducción en la oferta de roble francés para estructuras, la intensa exportación de trozas de roble europeo hacia China y el déficit general en madera de frondosas como resultado de la destrucción de los bosques proveedores de este tipo de maderas fuera de Europa y la actual guerra entre Rusia y Ucrania, que son dos grandes productores de madera de roble (López-Corralo 2022). Por ello, la madera aserrada de roble de procedencia española tiene en Europa un mercado potencial.

La clasificación visual de la madera aserrada de roble en calidades, ya sea para uso resistente o para uso decorativo, se basa en características externas de las piezas. En particular, los métodos de clasificación visual recogidos en las normas europeas EN se basan en el análisis de la presencia, posición y tamaño de ciertos defectos que pueden afectar a la elasticidad y a la resistencia de las piezas aserradas (CEN 2012a, CEN 2012b, CEN 2016, CEN 2023). Se denomina defectos a las singularidades o discontinuidades del tejido leñoso que reducen la resistencia u otros atributos del material relacionados con su calidad y con sus posibles aplicaciones tecnológicas.

Todavía no está normalizada la clasificación visual de la madera española de roble para usos resistentes, por lo que actualmente este tipo de madera no es asignable al sistema europeo de

clases resistentes (CEN 2016). La falta de normalización en este ámbito debería resolverse para que esta madera nacional pueda ser incluida en el sistema de normas mencionado y se facilite así su exportación.

En este sentido, una norma de clasificación visual de la madera aserrada de roble con fines resistentes debería tener en cuenta la mayor o menor variabilidad en la anchura de los anillos de crecimiento anual, dado que esta característica anatómica afecta al comportamiento estructural de la madera de esta especie (Duplat 1996, Sevrin 1997), aunque esa influencia no haya sido aún cuantificada. La homogeneidad de la variable anchura de anillos en la sección transversal de una pieza puede incorporarse como un criterio adicional en la clasificación visual de la madera aserrada de roble con aplicación en estructuras, mejorando así los métodos actuales de clasificación visual para esta especie de madera. En efecto, si la variabilidad en la anchura de anillos pudiera estimarse e incorporarse de forma sencilla a las normas de clasificación visual de la madera, aumentaría la capacidad predictiva de la clasificación sobre el comportamiento mecánico del material, dada la relación existente entre variabilidad de la anchura de anillos y resistencia mecánica en madera aserrada de roble. Sin embargo, la regularidad interanual de la anchura de anillos es un aspecto todavía no considerado en las normas de clasificación visual de la madera aserrada de roble que aparecen recogidas en la norma europea CEN 2012b.

La anchura de los anillos de crecimiento anual en la madera suele variar de un año para otro, debido principalmente a factores ambientales que afectan al crecimiento del árbol. Son las diferentes combinaciones de clima y roca madre las que afectan a la variación interanual en la anchura de anillos, de modo que cuando el sustrato geológico es roca compacta la reserva de agua en el suelo será escasa y el crecimiento diametral del árbol dependerá fuertemente del clima, con lo que la anchura de los anillos de crecimiento será posiblemente tan variable como lo sea el clima. Si, por el contrario, el sustrato es roca blanda y disgregable será mayor la reserva de

agua en el suelo disponible para el árbol y su crecimiento diametral será más uniforme e independiente del clima, con lo que los anillos de crecimiento anual tendrán anchura más homogénea (Figura 1a y Figura 1c). A esto hay que añadir otro factor ambiental, que es el tratamiento selvícola que se le aplica a la masa forestal. Si se trata de un régimen basado en claras fuertes, el patrón de variación de la anchura de anillos de crecimiento será irregular, tomando la forma de bandas alternativas de anillos anchos y estrechos, sobre todo durante las etapas más tempranas de crecimiento del árbol (Figura 1b).

En este trabajo se pretende evaluar cómo influye la homogeneidad de la anchura de anillos de crecimiento en el comportamiento mecánico de vigas de roble. Se considerará la homogeneidad como un posible rasgo anatómico a incorporar en la clasificación visual de dicha madera para construcción, para facilitar que las clases visuales de esta especie sean incluidas en el sistema europeo de clases resistentes CEN 2016.

Material y métodos

Para el estudio se aparearon 26 robles europeos (*Quercus robur* L.) en Galicia, región del noroeste de España en la que se localiza la mayor parte de la producción nacional de madera de roble (MITECO 2022). El número de árboles que integraban la muestra cubría ampliamente las exigencias de la norma CEN 2023, asumiéndose que de este modo la muestra abarcaba la esperable variabilidad entre pies en cuanto a propiedades de la madera. Se escogieron robles aptos para el aserrado, con fustes rectos, de más de tres metros de altura maderable, diámetro normal

superior a 30 cm y con ausencia de signos aparentes de pudriciones internas. Los árboles de más de 60 cm de diámetro normal fueron descartados dado que en ellos es más probable la presencia de pudriciones en el interior del fuste y, por otra parte, el destino convencional de los individuos de ese tamaño es la obtención de chapa a la plana por rebanado.

Los árboles de la muestra fueron troceados y aserrados, obteniéndose tablones tanto por despiece radial como tangencial o mixto (Figura 1a, Figura 1b, Figura 1c, respectivamente). Las piezas tangenciales y mixtas se incluyeron en el estudio porque se pretendía analizar el comportamiento de las vigas de roble en general, y las piezas tangenciales son las más habituales en la industria. Se seleccionó una muestra de 52 tablones que habían sido obtenidos en aserradero por corte paralelo al eje longitudinal de la troza. Estos tablones fueron secados al aire y posteriormente fueron cepillados y canteados hasta obtener vigas de dimensiones nominales 2000 mm × 100 mm × 50 mm.

Se obtuvo el módulo de ruptura o módulo resistente a flexión axial (MOR) y el módulo de Young o módulo elástico local a flexión axial (MOE) según CEN 2012a. Para el ensayo se utilizó una máquina universal de ensayos IBERTEST, modelo ELIB-100-CO, que operó bajo las condiciones ambientales del laboratorio (temperatura media 16 °C; humedad relativa 60 %).

Posteriormente, se cortó una pieza de la sección transversal de cada viga ensayada, de 2 cm de espesor; se obtuvo del tercio central de la viga en una zona libre de nudos. Sobre dicha pieza se determinó la densidad aparente según CEN 2023, la humedad según CEN 2002, el porcentaje de albura y la anchura de cada anillo de crecimiento según Stokes y Smiley (1996). Dada la escasa diferenciación entre albura y duramen tras el secado que se efectuó para la determinación del contenido de humedad (Traoré *et al.* 2023), fue necesario revelar la albura mediante tinción con anaranjado de metilo. El porcentaje de albura se obtuvo midiendo el área ocupada respecto de la superficie de la sección transversal completa de la pieza (Figura 1).

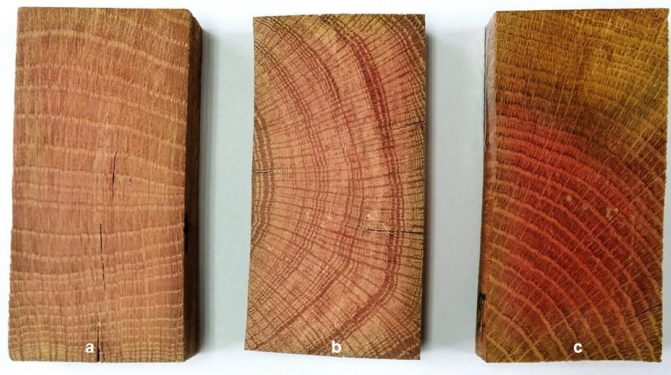


Figura 1: Piezas obtenidas por corte transversal de las vigas ensayadas, con los tres tipos de orientación de anillos: (a) viga obtenida por corte radial; (b) viga obtenida por corte tangencial; (c) viga obtenida por corte mixto. El color rojizo corresponde al duramen y el color amarillento corresponde a la albura, siendo la diferencia de color especialmente visible en la Figura 1c. (Las piezas fueron teñidas tras el secado en estufa).

Para medir la anchura de cada anillo en cada una de las piezas fue necesario lijar algunas de ellas para hacer visibles los límites de cada anillo de crecimiento puesto que, a pesar de que el roble es una frondosa de anillo poroso en la que los anillos anuales son distinguibles a simple vista, hay ocasiones en las que varios años de crecimiento diametral muy escaso en el árbol corresponden a anillos de crecimiento muy delgados, en los que no es fácil detectar límites entre anillos. El lijado se efectuó con lija P400 sobre la cara transversal de la rebanada en la que el aserrado de la misma había sido más limpio.

La anchura de cada anillo de crecimiento anual fue medida perpendicularmente a los límites del anillo y en dirección radial, siguiendo el orden de los anillos desde la corteza del árbol hacia la médula, y en la zona central del arco que forma cada anillo. A pesar del lijado, los límites entre anillos no eran siempre fáciles de identificar debido a la presencia de franjas formadas por anillos muy delgados, que indicaban largos periodos de crecimiento muy lento en diámetro. En estos casos se examinaba la estructura celular para identificar la presencia de anillos anuales completos.

Para ello se utilizó una lupa binocular Olympus SZ60, con un aumento de $\times 20-40$, equipada con una cruz filar de referencia y complementada con un medidor de anillos modelo Velmex. Este medidor está integrado por una plataforma móvil de posicionamiento digital que, accionada mediante una manivela, recoge los desplazamientos de forma lineal, transmitiendo la información a la base del ordenador. El medidor a su vez está implementado con un programa informático de medida desarrollado para llevar a cabo la toma de medidas.

La homogeneidad interanual en la anchura de anillos de cada viga se cuantificó mediante los indicadores estadísticos de posición y dispersión de la anchura de anillos que aparecen en la Tabla 1.

Las relaciones entre variables cuantitativas se analizaron mediante la representación de las nubes de puntos y mediante el coeficiente de correlación de Pearson (R). Los resultados se consideraron significativos para $p \leq 0,05$ y altamente significativos para $p \leq 0,01$. Los análisis estadísticos se ejecutaron mediante Microsoft Excel 2013 e IBM SPSS Statistics (versión 29.0).

Resultados y discusión

La orientación de los anillos de crecimiento en la sección transversal de las vigas fue radial (Figura 1a) en 27 piezas, tangencial (Figura 1b) en 18 piezas y aproximadamente diagonal o mixta en el resto (Figura 1c).

La densidad correspondía a una madera pesada según IRANOR (1978). En la norma CEN 2012a se establece que, para algunas especies de frondosas de alta densidad, en las que es difícil

acondicionar las probetas de ensayo a la humedad normalizada, se debe indicar esta circunstancia. En este trabajo, 37 de las 52 vigas ensayadas presentaban una humedad superior al 20 % (estadísticos descriptivos de la humedad en la Tabla 1). El alto contenido de humedad de la muestra se explica por el lento secado al aire de los tablones tras el aserrado, debido a la alta densidad de la madera analizada y al considerable espesor de los tablones (espesor nominal tras el cepillado: 50 mm).

Tanto MOE como MOR presentaron gran variación, lo cual era esperable al tratarse de una muestra heterogénea de vigas, de calidad variable al no estar clasificadas, con humedades diversas, desigual presencia de albura y anillos de crecimiento con orientación y dispersión de anchuras también diversas (Tabla 1). La dispersión de MOE y MOR fue superior a la que se cita para el roble rojo americano (*Quercus rubra* L.) (Živanović *et al.* 2021) y para el roble carrasqueño (*Quercus faginea* Lam.) (Knapic *et al.* 2022). Dado que las piezas ensayadas no estaban clasificadas en calidades, no se pretendía asignar valores característicos a las propiedades mecánicas obtenidas. Por ello, el valor obtenido del MOE no fue corregido para referirlo a la humedad del 12 % y el valor para el MOR no fue corregido a la dimensión de referencia (canto: 150 mm), correcciones ambas recogidas en la norma CEN 2023. Por otra parte, las humedades con las que se trabajó (Tabla 1) quedaban fuera del rango para el que es aceptable efectuar correcciones de MOE (10-18 % de humedad según CEN 2023).

En total se midió la anchura de 2064 anillos de crecimiento (en promedio 40 anillos por viga), con un valor mínimo de anchura de anillos de 0,12 mm y un valor máximo de 14,10 mm. La variación en la anchura de anillos dentro de cada viga de roble era considerable (coeficiente de variación 51 %, en Tabla 1), por lo que la consideración habitual de la anchura media de anillos como único parámetro descriptivo de la variable anatómica anchura de anillos de una viga se considera una simplificación excesiva.

Un elemento estructural de mayor tamaño, ya sea en longitud o en escuadría, será menos eficiente desde el punto de vista de su resistencia mecánica puesto que cuanto más grande es la pieza más probable es la aparición de singularidades de la madera que reducen su resistencia. Otro factor que reduce la resistencia de las piezas más grandes es la esperable mayor heterogeneidad en la anchura de anillos, propia de vigas de mayor escuadría (vigas más altas o de mayor espesor). Sin embargo, en la muestra analizada el tamaño de la pieza no constituyó una fuente de variación a considerar dado que la dimensión real de todas las piezas ensayadas era muy semejante.

Tabla 1: Estadísticos descriptivos de las variables obtenidas en los ensayos de flexión sobre vigas de roble de dimensiones nominales 2000 mm × 100 mm × 50 mm.

Variable	Unidad	Media	Mínimo	Máximo	CV (%)	
Módulo de elasticidad a flexión (MOE)	MPa	9419	2903	16737	34	
Resistencia a flexión (MOR)	MPa	44,1	16,7	75,8	34	
Humedad	%	21	18	33	14	
Densidad aparente al 12 % de humedad	kg/m ³	811	603	1006	9	
Superficie de albura en la sección transversal	%	16	0	100	149	
Anchura de anillos	media	mm	2,76	0,77	6,54	51
	desviación típica	mm	1,24	0,39	3,92	57
	varianza		2,02	0,16	15,38	125
	mínimo	mm	0,96	0,12	3,88	84
	máximo	mm	5,48	2,41	14,10	46
	rango (máximo - mínimo)	mm	9,58	3,97	13,94	29
	rango relativo (rango/media)		464,36	75,47	1790,86	68
	cociente (máximo/mínimo)		9,57	1,94	37,51	86
	cociente relativo (cociente/media)		495,96	38,29	2613,34	116
rango intercuartílico	mm	1,84	0,43	7,05	69	

Tamaño de muestra: 52 vigas. CV: coeficiente de variación.

Las variables MOE y MOR presentaban valores significativamente más altos en las vigas con

anillos de crecimiento de anchura más homogénea, según los coeficientes de correlación (R) (Tabla 2). Los indicadores de dispersión de anillos que estaban más relacionados estadísticamente con el comportamiento mecánico fueron la desviación típica, la varianza y el rango intercuartílico. Las correlaciones fueron mayores en el caso de MOE que en el caso de MOR (Tabla 2 y Figura 2). Las correlaciones no mejoraban segregando la muestra en función de rangos de humedad o en función de la orientación de los anillos en la sección de la viga. Se comprobó que la presencia de albura, en cualquier cuantía, en la sección transversal de una viga daba lugar a mayores correlaciones, obteniéndose los siguientes coeficientes de correlación para la submuestra de probetas que incluían albura:

MOE y varianza de la anchura de anillos ($R = -0,54^{**}$)

MOR y varianza de la anchura de anillos ($R = -0,51^{**}$) (Figura 2)

En la submuestra de vigas con presencia de albura la dispersión de las variables MOE y MOR (coeficiente de variación 35 y 33 %, respectivamente) es muy similar a su dispersión en la muestra completa (coeficiente de variación 34 % en MOE y en MOR, Tabla 1). Sin embargo, la variable varianza de la anchura de anillos presenta mayor dispersión en la submuestra de vigas con albura (coeficiente de variación 138 % frente al 125 % de la muestra completa, Tabla 1). Por tanto, la mayor dispersión en el eje de abscisas puede explicar las correlaciones más elevadas en la submuestra de albura.

La relación entre varianza y propiedades mecánicas no fue atribuida a un efecto indirecto de variables vinculadas al comportamiento mecánico de la madera como son la densidad (Lachenbruch y McCulloh 2014, Zhang *et al.* 2020) o la humedad, ya que ninguna de estas variables estaba correlacionada con la varianza de la anchura de anillos (Tabla 2).

Tabla 2: Matriz parcial de coeficientes de correlación de Pearson (R) para las variables

analizadas en la madera de roble.

VARIABLES DESCRIPTIVAS	MOE	MOR	H	D ₁₂	Alb%
Media	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,34*
Desviación típica	-0,40**	-0,32*	n.s.	n.s.	n.s.
Varianza	-0,41**	-0,34*	n.s.	n.s.	n.s.
Mínimo	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,33*
Máximo	-0,35*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Rango (máximo - mínimo)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Rango relativo (rango/media)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Cociente (máximo/mínimo)	n.s.	n.s.	0,28*	0,39**	n.s.
Cociente relativo (cociente/media)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,30*
Rango intercuartílico	-0,35*	-0,32*	n.s.	n.s.	n.s.

En la primera columna se presentan las variables descriptivas de la posición y dispersión de la distribución de la anchura de anillos. MOE: módulo de elasticidad a flexión axial; MOR: resistencia a flexión axial; *H*: contenido de humedad; *D*₁₂: densidad al 12 % de humedad de la madera; Alb%: porcentaje de albura en la sección transversal; * significativo al $p \leq 0,05$; **significativo al $p \leq 0,01$; n.s.: no significativo.

La influencia de la homogeneidad en la anchura de anillos sobre el comportamiento mecánico de la madera de roble a flexión axial no es lo suficientemente alta como para justificar la construcción de un modelo predictivo de MOE o MOR basado solamente en la variación de la anchura de anillos en la viga. Sin embargo, los resultados obtenidos permiten considerar que una norma de clasificación visual de roble para uso estructural tendrá mayor valor predictor si se hace intervenir la homogeneidad de la anchura de anillos como criterio de clasificación, más allá de la habitual referencia a la anchura media de anillos como fuente de variación en las propiedades mecánicas (Zhang 1995, Han *et al.* 2014 Jeong y Kim 2015). La influencia de la homogeneidad en los anillos es más notable si hay presencia de albura en la pieza, lo cual sucede en vigas con gema (arista faltante), en madera con zonas de color más claro y, en general,

en vigas procedentes del aserrado de trozas delgadas.

Una forma práctica de incluir la homogeneidad en la anchura de anillos como un rasgo anatómico adicional en las normas de clasificación visual de la madera con fines resistentes sería detectar visualmente la presencia en la sección transversal de agrupaciones de anillos muy estrechos, que forman bandas de color más claro por incluir más madera de primavera (Živanović *et al.* 2021), y que alternan con anillos más gruesos y oscuros (Figura 1b), en los que es más abundante la madera de verano. Estas bandas claras que alternan con anillos oscuros informan de alta variabilidad en la anchura de anillos y, como se ha expuesto en este trabajo, peores propiedades mecánicas a flexión. Por tanto, la presencia de bandas de anillos estrechos debería ser causa de rechazo de una pieza en la primera o primeras calidades de una norma de clasificación.

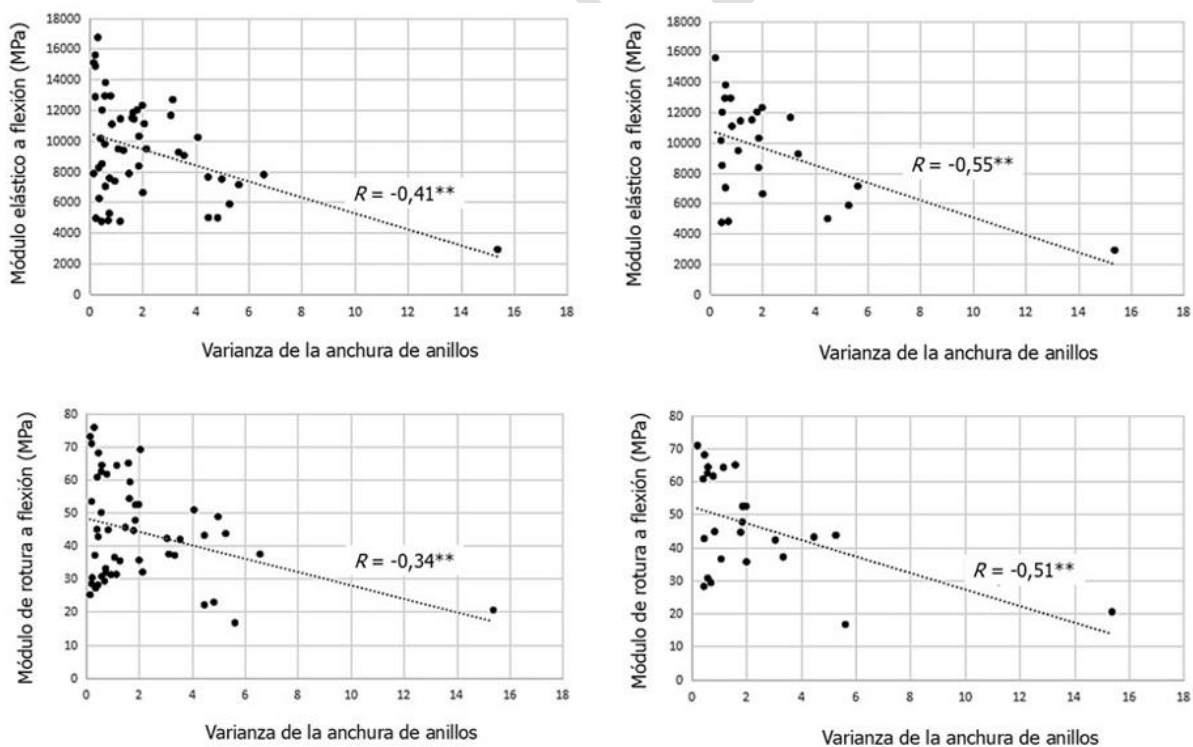


Figura 2: Nubes de puntos y coeficientes de correlación de Pearson (R) para las variables mecánicas analizadas en madera de roble respecto de la varianza de la anchura de anillos. (Izquierda: muestra completa; derecha: submuestra de vigas con presencia de albura).

Conclusiones

Una alta heterogeneidad en la anchura de los anillos de crecimiento de la madera reduce la rigidez y la resistencia mecánica en vigas de roble sometidas a flexión axial. La varianza de la anchura de anillos de crecimiento en la viga es la variable que más se relaciona con el comportamiento mecánico a flexión, sobre todo si hay albura presente en la pieza. Las normas de clasificación visual de madera de roble para uso estructural pueden mejorar si el rasgo anatómico “homogeneidad en la anchura de anillos” se incorpora como criterio de clasificación. En futuros trabajos se deben ensayar lotes de al menos 40 piezas y de al menos dos escuadrías diferentes a la escuadría 100 × 50 mm ensayada en este trabajo, para una completa caracterización de la influencia de la homogeneidad de la anchura de anillos en el comportamiento resistente del material.

Declaración de autorías

G. R. M.: Conceptualización, análisis formal, financiación, investigación, metodología, administración del proyecto, software, supervisión, validación, visualización, redacción y revisión.

Agradecimientos

A la ERDF, a la Oficina de Investigación y Tecnología de la Universidad de Santiago de Compostela y a la Xunta de Galicia, por haber proporcionado la financiación necesaria para realizar este trabajo de investigación.

Referencias:

- CEN. 2002.** Moisture content of a piece of sawn timber. Part 1: Determination by oven dry method. EN 13183-1:2002. CEN: Bruselas, Bélgica.
- CEN. 2012a.** Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties. EN 408:2011+A1:2012. CEN: Bruselas, Bélgica.
- CEN. 2012b.** Structural timber. Strength classes. Assignment of visual grades and species. EN 1912:2012/AC:2013. CEN: Bruselas, Bélgica.
- CEN. 2016.** Structural timber. Strength classes. EN 338:2016. CEN: Bruselas, Bélgica.
- CEN. 2023.** Structural timber. Determination of characteristic values of mechanical properties and density. UNE EN ISO 384:2016+A2:2023. CEN: Bruselas, Bélgica.
- Duplat, P. 1996.** Sylviculture du chêne pédonculé. Office National des Forêts. Bulletin Technique 31: 15-19.
- Gutiérrez Oliva, A.; Plaza Pulgar, F. 1967.** Características físico-mecánicas de las maderas españolas. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias: Madrid, España.
- Han, M.S.; Lee, C.J.; Park, B.S.; Kim, B.R. 2014.** Studies on wood quality and growth of *Quercus rubra* (24 years old) in Korea. Physical and mechanical properties. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42(3): 327-338.
<https://doi.org/10.5658/WOOD.2014.42.3.327>
- IRANOR. 1978.** Interpretación de los resultados de los ensayos. UNE 56540:1978. IRANOR: Madrid, España.
- Jablonski, M.; Matejak, M.; Niemz, P. 1998.** Untersuchungen zum Einfluss von Luftschadstoffen auf die Eigenschaften von Holz. *Holzforsch Holzverw* 50(4): 75-77.
- Jeong, J.H.; Kim, B.R. 2015.** Wood quality and growth of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. in Korea. Compressive and bending strength properties. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 43(3): 287-294. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2015.43.3.287>
- Knapic, S.; Linhares, C.S.; Machado, J.S. 2022.** Compressive and bending strength variations in the properties of Portuguese clear oak wood. *Forests* 13(7). e1056.
<https://doi.org/10.3390/f13071056>
- Lachenbruch, B.; McCulloh, K.A. 2014.** Traits, properties, and performance: how woody plants combine hydraulic and mechanical functions in a cell, tissue, or whole plant. *New Phytologist* 204(4): 747-764. <https://doi.org/10.1111/nph.13035>
- López-Corralo, D. 2022.** La guerra en Ucrania ya está afectando a las cadenas de transporte y suministro en varios países. *Madera Sostenible* <https://madera-sostenible.com/madera/comunicado-de-la-industria-europea-de-la-madera-ante-la-guerra-en-ucrania/>
- MITECO. 2022.** Anuario de estadística forestal 2020. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico: Madrid, España. ISBN: 978-84-18508-82-0. 179p.
https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/estadisticas/anuario_ef2020_tm30-559705.pdf
- Sevrin, E. 1997.** Les chênes sessile et pédonculé. Les guides du sylviculteur. Institut pour le Développement Forestier: París, Francia.
- Stokes, M.A.; Smiley, T.L. 1996.** An introduction to tree-ring dating and measurement. University of Arizona Press: Tucson, USA.
- Traoré, M.; Kaal, J.; Cortizas, A.M. 2023.** Variation of wood color and chemical composition in the stem cross-section of oak (*Quercus* spp.) trees, with special attention to the sapwood-heartwood transition zone. *Spectrochim Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 285. e121893. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121893>

Van Acker, J.; Militz, H.; Stevens, M. 1999. The significance of accelerated laboratory testing methods determining the natural durability of wood. *Holzforschung* 53(5): 449-458.

<https://doi.org/10.1515/HF.1999.075>

Zhang, S.Y. 1995. Effect of growth rate on wood specific gravity and selected mechanical properties in individual species from distinct wood categories. *Wood Science and Technology* 29(6): 451-465. <https://doi.org/10.1007/BF00194204>

Zhang, S.; Belien, E.; Ren, H.; Rossi, S.; Huang, J.G. 2020. Wood anatomy of boreal species in a warming world: a review. *IForest* 13(2): 130-138. <http://dx.doi.org/10.3832/ifor3230-013>

Živanović, I.; Todorović, N.; Šurjanac, N.; Kabiljo, M.; Jovanović, F. 2021. Physical and mechanical properties of wood of northern red oak in the vicinity of Belgrade (Serbia).

Sustainable Forestry: Collection 83-84: 93-105. <http://dx.doi.org/10.5937/sustfor2183093z>

PAPER ACCEPTADO