

PROPIEDADES DE LA MADERA



Usos históricos

Lógicamente, las primeras referencias históricas sobre las aplicaciones y propiedades de la madera de eucalipto blanco aparecen vinculadas a su lugar de origen.

En el año 1803, los británicos establecen una colonia penal en Tasmania y fundan la ciudad de Hobart como capital del estado que pasa a convertirse en un importante centro de construcción naval y puerto ballenero.

Con la llegada de los primeros colonos a Australia se inicia la búsqueda de maderas alternativas a las empleadas habitualmente en Europa y la madera de eucalipto blanco no tarda en conseguir una gran reputación por sus propiedades mecánicas y su durabilidad. Entre sus principales empleos se señalan la construcción de puentes, apeas de minas, construcción civil y naval, traviesas de ferrocarril y pilotes de muelles y embarcaderos.

En los informes del Consejo de Carruajes de Victoria aparece señalada como una de las cuatro principales maderas coloniales y se la considera



muy adecuada para aplicaciones como postes, pilares, mangos de herramientas, ejes de carruajes, listones de camas, hachas, picos, azadones, horcas, arados, ejes de ruedas, barandillas, postes telegráficos, entablados de puentes y embarcaderos, etc.

En otro informe oficial de Tasmania se describe a la madera de eucalipto blanco como densa y dura, muy durable y con una elevada aptitud al pulimento. Se la considera más resistente que el roble inglés, por lo que puede emplearse de

propiedades de la madera

forma ventajosa en todas aquellas aplicaciones en las que éste se emplee; por ejemplo, en construcción naval, embarcaderos, puentes, estructuras de viviendas, vagones, carros, arados y en todo tipo de aperos y herramientas agrícolas.

Sin embargo, a medida que las aplicaciones de la madera de eucalipto blanco comienzan a desarrollarse no tardan en surgir las primeras controversias y prejuicios sobre su empleo.

Frente a estas críticas, ya en el año

1865 se retira una viga de esta madera instalada en el palacio de Justicia de Hobart y que había permanecido durante 45 años puesta en servicio. Los técnicos que la examinan declaran que la madera está en un estado tan perfecto que parece recién cortada.

En nuevos documentos oficiales datados en 1895 puede leerse la opinión de C.S Perrin, el responsable de bosques del estado de Victoria: «soy consciente de que existe un prejuicio contra el empleo de la madera de eucalipto blanco y, a este respecto, estoy convencido de que se ha producido un error. Mi firme opinión, una vez estudiados los magníficos muelles de Hobart y otras construcciones de Tasmania en las que se ha empleado eucalipto blanco de primera calidad, es que disponemos en Victoria y Tasmania de una madera de enorme valor para numerosas aplicaciones como entablados, construcción civil, postes y pilotes, etc».

En su informe, Perrin considera que los prejuicios existentes contra la madera de eucalipto blanco se fundamentan en dos razones; por un lado la falsificación a la que ha sido sometida esta madera en



ciertos trabajos marinos de importancia y, por otro, el empleo de madera de eucalipto blanco procedente de árboles jóvenes y, por lo tanto, de una calidad inferior

Por otro lado, se insiste en que es necesario seleccionar la madera de eucalipto blanco, trabajando con la madera procedente de árboles de cierta edad y rechazando la madera de albura y la procedente del centro del tronco, cuya durabilidad es muy inferior.

En la Eurorregión Galicia-Norte de Portugal, la situación es muy similar a la descrita. La madera de eucalipto blanco establece rápidamente una sólida reputación entre los constructores navales y los carpinteros de ribera que la siguen empleando hasta hoy, con otras aplicaciones marinas como los entramados de las mejilloneras (bateas) o las nasas para la captura de marisco.

Los principales usos de la madera siguen un extraordinario paralelismo con las desarrolladas en Australia y comienza a aplicarse el eucalipto en construcción civil, entablados, mangos de herramientas, apeas de mina, carretería, etc.

Durante mucho tiempo la industria de

la madera del eucalipto en la Eurorregión tiene una fuerte componente artesanal. Los árboles de cierta edad son seleccionados en el monte y, al igual que en Australia, se les practica una herida (anillado) antes de su corta, la madera es clasificada cuidadosamente eliminando la albura y la parte central de la troza y, posteriormente, se sierra y seca con tecnologías rudimentarias pero imaginativas.

De nuevo, las aplicaciones del eucalipto suscitan al mismo tiempo admiración y prejuicios y, al igual que en Australia, existen documentos que permiten definir y aclarar la situación.

D. Vicente Pardo de Lama realiza en el año 1870 varias plantaciones en Galicia de diversas especies de eucalipto. Posteriormente, en un artículo publicado en 1921 por su nieto, D. Federico Maciñeira, puede leerse... «aunque de todos es bien conocida la variedad globulus por lo propagada que universalmente se halla, no estará de más decir algo sobre su buena madera, que se han empeñado en desacreditar quienes la utilizaron antes de tiempo en unos

casos y sin acertar a beneficiarla debidamente en otros»... «si los árboles exceden de cuarenta años de edad y para beneficiarlos se les desangra oportunamente, cortándolos luego en estación apropiada y se le sabe aserrar inteligentemente, dándoles el primer hilo por el corazón, dejando después respirar la madera perfectamente acondicionada al abrigo, esta no sufre deformaciones. Tratada así reúne excelentes condiciones, superando a todas las del país por su gran elasticidad y dureza».

De aquella época quedan todavía en pie estructuras y pavimentos en perfecto estado con edades superiores a los 80 años.

Desde el inicio de sus aplicaciones hace unos 200 años, los técnicos que han examinado la madera de eucalipto blanco coinciden al afirmar que se trata de una madera con unas propiedades mecánicas excelentes y, por lo tanto, de elevado valor para numerosas aplicaciones.



En todos los casos, se insiste en la necesidad de trabajar con madera de una cierta edad y evitar la parte central de la troza para homogeneizar y optimizar sus propiedades.

En la actualidad, es de esperar que la disponibilidad de tecnologías apropiadas para su procesamiento, permita derrumbar mitos y tópicos pasados y alcanzar el reconocimiento que la madera de eucalipto blanco merece.

Propiedades de la madera

La caracterización de las propiedades de una especie de madera proporciona información sobre su procesamiento a las industrias transformadoras y permite definir sus mercados potenciales.

El conjunto de células especializadas que constituyen la madera es el resultado de un material perfectamente adaptado para satisfacer las necesidades vitales del árbol. Estas necesidades

pueden resumirse en la circulación y almacenamiento de los nutrientes que necesita para su desarrollo y en unos requerimientos estructurales que le permitan soportar diversos esfuerzos mecánicos (flexión originada por el viento, compresión que provoca su peso propio, etc.).

Desde un punto de vista comercial es habitual presentar valores únicos para cada propiedad. No obstante, al valorar las cifras, es importante tener en cuenta que éstas sufren importantes variaciones tanto por influencias externas como por las peculiaridades internas de la anatomía de sus células.

Por un lado, la madera de cualquier especie forestal presentará características distintas de acuerdo con la calidad de la estación donde esté situada, la selvicultura aplicada, etc. Además, dentro de un mismo árbol las propiedades de su madera varían considerablemente tanto a lo largo del eje del tronco como, dentro de una misma sección, en sentido radial.

Cada año el tejido del cambium, situado en la periferia del tronco, genera un nuevo conjunto de células hacia el

interior del tronco que da lugar a un anillo de crecimiento.

Los nuevos anillos formados por células jóvenes forman la madera de albura. Con el paso de los años, estos anillos van desplazándose hacia el interior del tronco (como consecuencia de la formación de nuevos anillos anuales en la periferia) y las células que los forman sufren un proceso físico-químico mediante el cual la madera de albura se transforma en duramen.

En esencia, este proceso hace que diversos elementos anatómicos vayan reduciendo gradualmente su función conductora, adquiriendo un papel mayoritariamente estructural.

Además, los árboles presentan madera juvenil que es la producida por el árbol durante sus primeros años de crecimiento. Esta madera se sitúa en el centro del tronco y presenta una densidad reducida y propiedades mecánicas inferiores a las de la madera normal, así como una mayor hinchazón y merma en la dirección longitudinal.

La madera juvenil es difícilmente observable a simple vista y se presenta en el interior del tronco. Por este motivo,

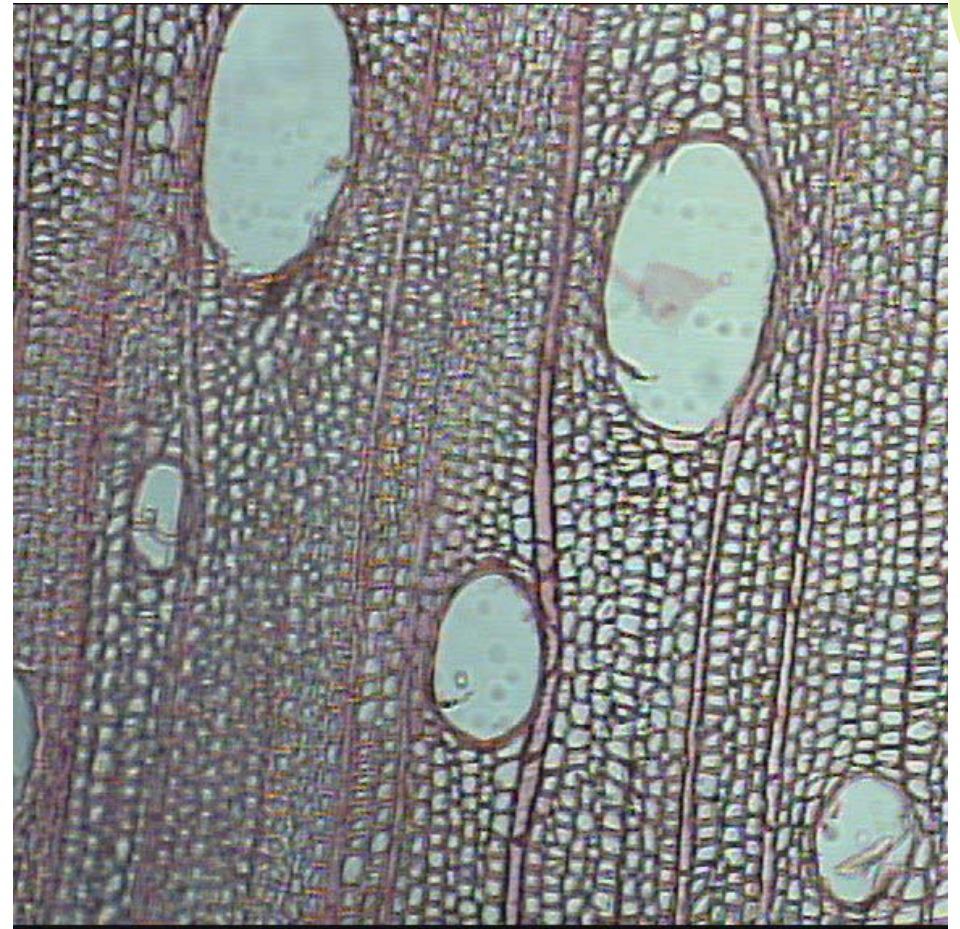
en árboles jóvenes de crecimiento rápido, en que existe una alta proporción de madera juvenil, puede ocurrir que madera localizada en la zona de duramen tenga características mecánicas inferiores a la albura.

En todos los casos, la actuación del hombre a través de la selvicultura y la mejora genética permite incidir en las propiedades de cualquier especie de madera para adaptarlas a los requerimientos de la industria transformadora y las exigencias del mercado.

Anatomía

El color de la madera de albura de eucalipto blanco es blanco grisáceo o crema pálido y el del duramen varía entre el canela al marrón rojizo o marrón amarillo claro. La textura de su madera es homogénea, el grano medio y la fibra presenta tendencia a virar y entrecruzarse.

La madera puede presentar anillos anuales y también estacionales. Los anillos anuales son anchos y difíciles de identificar, por lo que no suelen constituir un buen criterio para conocer la edad del árbol.



Desde el punto de vista de su estructura, la madera está formada básicamente por células alargadas y huecas que, normalmente, se orientan siguiendo el eje del árbol.

Las fibras constituyen los elementos más numerosos con un porcentaje del 50% sobre todos los elementos anatómicos. En el caso del eucalipto son de tipo libriforme y forma poligonal. El grosor medio de las paredes oscila entre 4-6 μm y el diámetro máximo del espacio intercelular (lumen) entre 10 y 12 μm .

Los vasos del eucalipto son poco numerosos (8-10/mm²), de distribución difusa y aislada, y con un diámetro máximo oscilando entre 150 y 170 μm . Los radios leñosos son finos y numerosos (12-14/mm). Normalmente son uniseriados y suponen un 14% aproximadamente del porcentaje total de elementos anatómicos.

El parénquima es del tipo paratraqueal vasicéntrico, aliforme o confluyente, y representa un 16% aproximadamente de los elementos anatómicos.

Tabla 1 Composición química de diferentes especies de madera

Madera	Celulosa	Hemicelulosas	Lignina
<i>Pinus radiata</i>	42 - 50	24 - 27	20
<i>Populus tremuloides</i>	45 - 48	23 - 24	17 - 21
<i>Eucalyptus globulus</i>	42,3 - 54,0	16 - 36,6	17,9 - 23,3

Tabla 2. Composición química media de las diferentes partes de un eucalipto

Fracción química	Tronco	Corteza	Copa*	Ramas**
Celulosa	52,8 ± 2,0	53,1 ± 2,7	53,6 ± 1,5	40,1 ± 1,3
Hemicelulosas	16,0 ± 2,0	12,0 ± 4,2	17,5 ± 1,2	17,8 ± 1,9
Lignina	19,3 ± 0,7	18,8 ± 1,9	19,4 ± 0,9	21,5 ± 0,9
Extractos	4,9 ± 1,0	12 ± 3,5	3,7 ± 0,6	18,5 ± 2,4
Genizas	0,54 ± 0,09	3,37 ± 0,64	1,41 ± 0,57	2,97 ± 0,40

Fuente: Pereira, H. (1988)

*Copa: Madera cuyo tronco no supera 6 cm de diámetro (incluida la corteza)

**Ramas: incluida la corteza

Composición química

Las principales fracciones químicas que forman cualquier especie de madera son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, cada una de las cuales posee características propias.

La celulosa constituye aproximadamente el 50% de la masa anhidra de la madera. Es un polímero compuesto por entre 500 y 15000 unidades de β -D-glucosa. Las cadenas de celulosa se enlazan entre sí mediante puentes de hidrógeno y, a su vez, se agrupan constituyendo las denominadas

microfibrillas que confieren a la madera su elevada rigidez y se encuentran embebidas en una matriz formada por hemicelulosas y lignina.

Las hemicelulosas constituyen aproximadamente la quinta parte de la masa anhidra de la madera. Son heteropolímeros constituidos por un pequeño grupos de azúcares (xilosa, arabinosa, etc.) y de algunos de sus derivados (ácidos urónicos, etc.). Su función dentro de la célula es la de unión entre las microfibrillas celulósicas y la lignina.

La lignina constituye aproximadamen-

te el 25% de la masa anhidra de la madera. Es un polímero tridimensional compuesto por unidades de fenilpropano, unidas entre sí mediante enlaces carbono-carbono ó enlaces de tipo éter. Es la sustancia encargada de la cohesión de las células, reforzándolas mecánicamente, proporcionándoles elasticidad y protegiéndolas de las pérdidas de agua (debido a su hidrofobicidad) y de ataques de agentes xilófagos.

La composición química media de la madera de *Eucalyptus globulus* se muestra en la tabla 1, en la que se compara con la composición de otras 2 maderas de crecimiento rápido; una conífera (*Pinus radiata*) y una frondosa (*Populus tremuloides*).

A su vez, la tabla 2 muestra la variación de la composición química de las diferentes partes de un eucalipto blanco con una edad comprendida entre 11 y 14 años.

De forma general, la corteza destaca por su elevado contenido de cenizas y extractos junto con un reducido contenido en hemicelulosas. Las ramas presentan un elevado contenido de cenizas y extractos, acompañado de un reducido contenido en celulosa.

Sin embargo, la mayor variabilidad en cuanto a la composición química se encuentra al comparar las composiciones de madera de distintas procedencias, especialmente en lo referido al porcentaje de celulosa.

Caracterización de la madera de eucalipto

Durante el Proyecto CRAFT FAIR 98-9579 se estudiaron las principales propiedades de la madera de eucalipto procedente de seis parcelas de Galicia, con edades comprendidas entre los 23 y 35 años.

Las propiedades estudiadas fueron el peso específico, la dureza Monnin, el punto de saturación de la fibra, los coeficientes de contracción radiales y tangenciales, la resistencia a la flexión, la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.

El peso específico es el parámetro más importante para caracterizar cualquier especie de madera. A menudo, esta propiedad está bien relacionada con las principales propiedades físicas y mecánicas así como con otras características de la madera como su durabilidad natural, impregnabilidad, etc.

La dureza Monnin es una propiedad de referencia para conocer la trabajabilidad de la madera y debe considerarse para cualquier utilización

Tabla 3. Principales propiedades físico-mecánicas de la madera de *Eucalyptus globulus*

PROPIEDADES	Media	Rango	Coef. de variación	Resultado
Peso específico	0.76	0.42 - 1.07	11% a 20%	Medio
Dureza	6.0	3 - 10.1	22% a 28%	Medio-Alto
Contracción radial total (%)	7.5	2.9 - 11.6	13% a 30%	Alto
Contracción tangencial total (%)	13.8	6.9 - 20	8% a 27%	Alto
Punto de saturación de la fibra (%)	37	27 - 53	5% a 14%	Alto
Módulo de elasticidad (Mpa)	20580	6500 - 33000	17% a 31%	Alto
Resistencia a la compresión (Mpa)	71	39 - 107	12% a 20%	Alto
Resistencia a la flexión (Mpa)	130	48 - 181	12% a 23%	Alto

Fuente: CIS-Madera/CIRAD-Fôret

en que la madera esté sometida a impactos (pavimentos de madera, etc.).

El valor del punto de saturación de la fibra corresponde con el contenido de humedad de la madera a partir del cual su secado se produce con variaciones dimensionales (hinchazón y merma). Esta propiedad proporciona información sobre los posibles riesgos durante el secado y el valor de las contracciones totales que experimentará la madera.

Los coeficientes de contracción radiales y tangenciales permiten estimar los problemas que pueden originarse durante el secado y los posteriores movimientos de la madera una vez puesta en servicio. La diferencia entre estas dos propiedades se considera uno de los mejores parámetros para calificar el grado de estabilidad de una especie de madera.

Las resistencias a la flexión y compresión

y el módulo de elasticidad, son las propiedades básicas para realizar el cálculo estructural de elementos de madera sometidos a esfuerzos mecánicos.

El valor medio de los resultados obtenidos en la caracterización de las propiedades de la madera de *Eucalyptus globulus* se detalla en la tabla 3.

Un primer análisis de los resultados resalta las características mecánicas de la madera de eucalipto cuyas propiedades se clasifican como elevadas en todos los casos. Es también importante señalar que los valores elevados del punto de saturación de la fibra y de los coeficientes de contracción advierten acerca de la necesidad de realizar un secado cuidadoso y una adecuada puesta en servicio.

Estos resultados globales enmasca-

ran grandes diferencias entre los valores de las distintas parcelas y, a su vez, entre árboles procedentes de una misma parcela.

Estas diferencias pueden explicarse, sobre todo, considerando la influencia de la edad. Las parcelas más jóvenes presentan los valores más reducidos y dispersos para casi todas propiedades, coincidiendo este resultado con los encontrados en otros proyectos con especies de crecimiento rápido. Esta característica se debe a que los árboles más jóvenes tienen una mayor proporción de madera juvenil caracterizada por unas propiedades mecánicas inferiores y una mayor variabilidad de los resultados.

A este respecto, la evolución de las propiedades de la madera procedente de la parcela más joven (23 años) y las de mayor edad (35 años) es espectacular. En tan sólo doce años, las propiedades muestran una enorme evolución durante la que, como media, los valores de las propiedades mecánicas se incrementan en un 35%, la densidad en un 30%, y los coeficientes de contracción en un 35%.

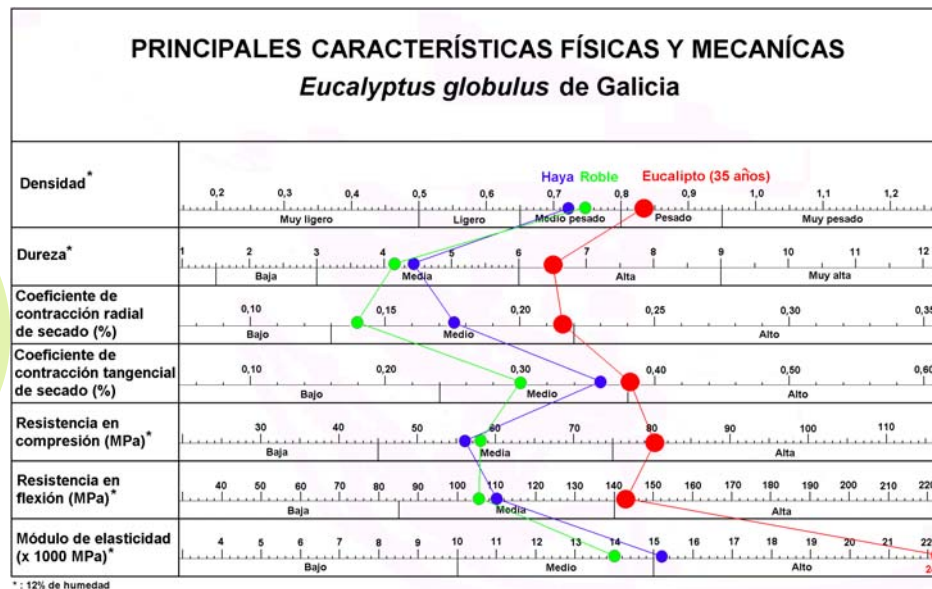


FIGURA 1. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES DE REFERENCIA DE LA MADERA DE EUCALIPTO, ROBLE Y HAYA

La figura 1 permite comparar los valores de las propiedades de la madera de eucalipto blanco de 35 años de edad, con los valores estándar de frondosas europeas como el haya y roble.

Variación entre propiedades en sentido radial

En todos los casos, las propiedades (a excepción del punto de saturación de la fibra) presentan una fuerte tendencia a variar en el sentido radial, incrementándose de forma más o menos acusada desde la médula y hacia la corteza.

Esta tendencia está directamente relacionada con la mayor o menor presencia de madera juvenil y tiene una gran importancia, al influir sobre propiedades como el módulo de elasticidad y los coeficientes de contracción (pueden variar en una proporción de 1 a 3), y el peso específico o la resistencia a la flexión (desde 1 a más de 2).

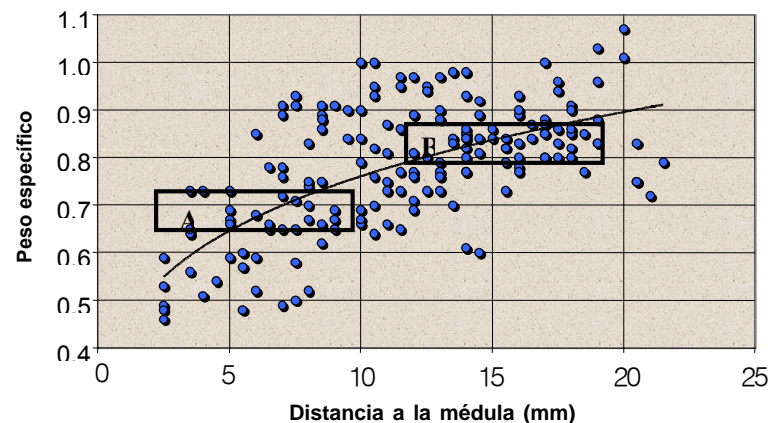


FIGURA 2. EVOLUCIÓN DEL PESO ESPECÍFICO A LO LARGO DEL RADIO DEL TRONCO DE EUCALIPTO

En las proximidades de la médula, la variación de las propiedades se hace exponencial. Este hecho justifica la selección de los despieces, evitando emplear la parte central de la troza en productos de calidad.

La figura 2 representa la evolución del peso específico a lo largo del radio. Como ejemplo, se muestra su influencia en dos tablas de despiece radial y 75 mm de anchura.

En el caso de la tabla A, obtenida en las proximidades de la médula, el valor del peso específico puede oscilar hasta un 25% dentro de una misma tabla y esa variación producirá problemas durante el secado y la puesta en servicio de la madera. Sin embargo, en el caso de la tabla B la variación del peso específico es tan sólo de un 10% a lo largo de su anchura lo que permitirá elaborar un producto homogéneo y estable.

Relación entre propiedades

El conocimiento de las relaciones existentes entre las distintas propiedades de cualquier especie de madera permite simplificar el número de ensayos necesarios para caracterizar la madera de distintas procedencias.

En el caso del eucalipto blanco, el peso específico está bien relacionado con casi todas las propiedades a excepción del punto de saturación de la fibra. A partir del conocimiento de esta propiedad, muy fácil de determinar, es posible obtener una información fiable sobre el comportamiento mecánico de la madera de cualquier origen y una estimación sobre su nivel de contracciones.

A su vez, las tres propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión) están bien correlacionadas entre sí, en particular el módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión.



Por ello la determinación del módulo de elasticidad (fácil y rápida de llevar a cabo mediante métodos acústicos) podría ser suficiente para conocer el comportamiento mecánico de las muestras ensayadas.

Los coeficientes de contracción y el punto de saturación de la fibra no están bien correlacionados entre sí, debiendo determinarse de forma simultánea si se desea caracterizar el nivel de "estabilidad" de una procedencia de madera.

Aplicaciones estructurales

Desde el inicio de sus aplicaciones, la madera de eucalipto blanco ha destacado por los elevados valores de sus propiedades mecánicas, empleándose tradicionalmente en forma de rollizos o vigas para construcción civil y aplicaciones navales.

Desde un punto de vista comercial, dada la dificultad de secar industrialmente madera de una escuadría elevada, parece razonable orientar las aplicaciones estructurales de la madera de eucalipto, en el empleo de vigas o perfiles de madera laminada encolada.

Tabla 4. Propiedades mecánicas de perfiles de madera laminada de *Eucalyptus globulus* de 72 x 86 mm de sección

Propiedades mecánicas en N/mm ²	Valores medios		Valores característicos (5º percentil)	
	Lote A (sin finger-joint)	Lote B (con finger-joint)	Lote A (sin finger-joint)	Lote C (todas las probetas)
Resistencia a flexión	125,3	103,4	101,5	93,4
Módulo de elasticidad (UNE EN 408)	22.731	21.380	16.067	16.468
Módulo de elasticidad (pr EN 408)	20.339	21.219	15.798	16.150

Nota: Los valores característicos correspondientes al 5º percentil han sido calculados según el borrador de norma EN TC 124 considerando un nivel de confianza del 84,1%

En el marco del Proyecto INTERREG se realizaron varios ensayos a perfiles de madera laminada de eucalipto blanco, con el fin de determinar su módulo de elasticidad y resistencia característica a la flexión. Los ensayos fueron realizados por la Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho (AITIM).

El material de ensayo fueron 45 perfiles de madera laminada encolada con una escuadría de 72x 86 mm, formados por la unión de tres láminas de 24x86 mm de sección. Del total de 45 perfiles, 35 estaban formados por la unión encolada de las tres láminas y en 10 de ellos, la lámina central a su vez contenía empalmes por unión dentada múltiple («finger joint»).

Los ensayos se realizaron conforme a la norma UNE EN 408 «Estructuras de madera. Madera aserrada y madera

laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas».

La norma UNE EN 408 se encuentra actualmente en proceso de revisión estando previsto una modificación del método para determinar el módulo de elasticidad (prEN 408:2000 «Timber Structures - Structural Timber and Glue Laminated Timber - Determination of some physical and mechanical properties»). Por este motivo se han realizado ensayos con ambos procedimientos.

Los valores característicos correspondientes al 5º percentil han sido calculados conforme al borrador de norma EN TC 124 «Structural Timber. Calculation of characteristic 5 percentiles value», considerando un nivel de confianza del 84,1%.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 4.

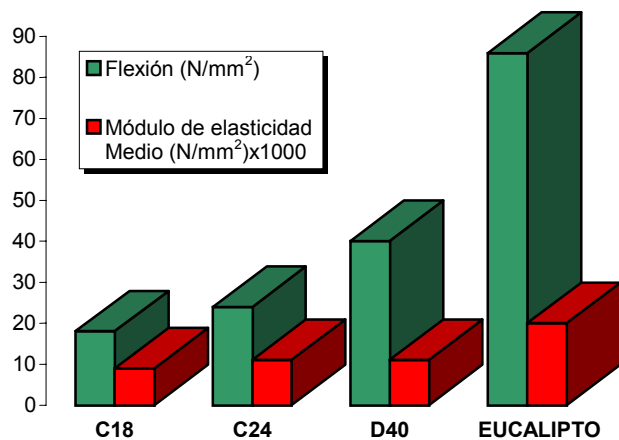


FIGURA 3. COMPARACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE DISTINTOS PRODUCTOS

Como se esperaba, las propiedades mecánicas del eucalipto blanco son excepcionales con valores comprendidos entre 93 y 101 N/mm² para la resistencia característica a la flexión y un valor medio de 20.200 N/mm² para el módulo de elasticidad.

La resistencia media de las probetas que presentan empalmes en la lámina central es un 82% de la resistencia de las probetas sin empalme. En el módulo de elasticidad su influencia es muy pequeña, prácticamente despreciable.

Para la consideración en el cálculo de estructuras de acuerdo con el planteamiento del Eurocódigo 5, la resistencia característica de los perfiles de madera laminada debe referirse a un canto de 150 mm para la madera aserrada. En este caso

el valor obtenido en el conjunto de los perfiles de madera laminada con un canto de 86 mm debe dividirse por un factor de 1,117 con lo que obtendríamos una resistencia característica a la flexión de 83 N/mm².

Como dato comparativo de las propiedades del material de ensayado, la mayor clase resistente de frondosas que se incluye en la norma UNE EN 338 «Madera estructural. Clases resistentes» es la D70, con una resistencia característica a la flexión de 70 N/mm² y un módulo de elasticidad medio de 20.000 N/mm².

La figura 3 compara los resultados obtenidos en los ensayos de los perfiles de madera laminada de eucalipto con los valores de las clases resistentes de madera aserrada de coníferas más

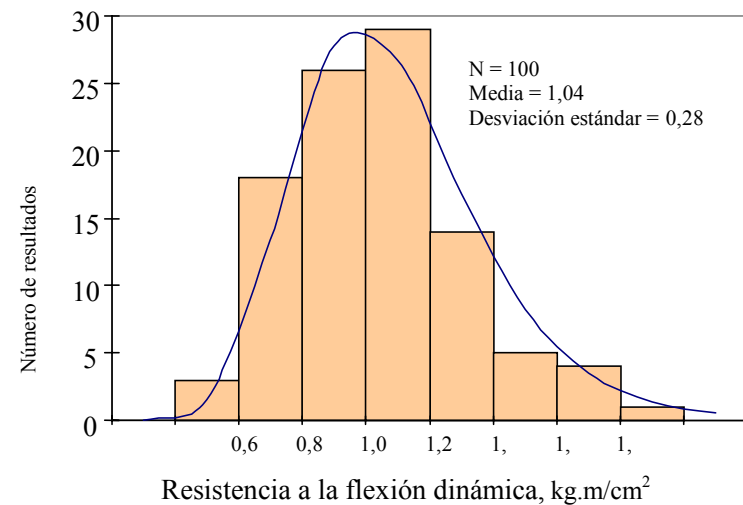


FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN DINÁMICA

empleados en construcción (C-18 y C-24) y una de las clases más habituales de madera aserrada de frondosas (D-40).

Flexión dinámica

La flexión dinámica permite valorar la aptitud de una madera en todas aquellas aplicaciones en que ésta es solicitada a impactos de duración reducida. Ejemplos de estas aplicaciones son numerosos usos tradicionales del eucalipto blanco como los mangos de madera para herramientas de percusión (martillos, hachas, azuelas, azadas, etc).

Por este motivo se ensayaron en el CIS-Madera un total de 100 probetas de madera de eucalipto conforme a la norma UNE 56.536-77 «Características físico mecánicas de la madera: determi-

nación de la resistencia a la flexión dinámica»

Las probetas tienen forma de prisma cuadrangular de 20 mm de lado y 300 mm de longitud y se colocan centradas entre dos apoyos separados unos 240 mm. La carga se aplica mediante un martillo cilíndrico que cae desde un metro de altura y provoca la rotura de la probeta.

La resistencia de la madera a la flexión dinámica se mide por el trabajo (T) absorbido por la probeta y los resultados se expresan mediante el coeficiente de resiliencia K.

$$K = T/S$$



K = Coeficiente de resiliencia en Kgm/cm²

T = Trabajo absorbido por la probeta en Kgm

S = Area de la sección central de la probeta en cm²

En el caso del eucalipto blanco, el valor medio del coeficiente de resiliencia es de 1,04 (ver figura 4) lo que según la norma UNE 56.540-78 «Características físico mecánicas de la madera: Interpretación de los resultados de los ensayos» se corresponde con una alta resistencia de la madera a la flexión dinámica y, en consecuencia, una óptima calidad de la madera para todas aquellas aplicaciones en las que esta propiedad sea importante.

Conclusiones

El estudio de la madera procedente de eucaliptos blancos de diferentes edades ha puesto de manifiesto la importancia de este factor en las propiedades de la madera. La madera juvenil se caracteriza por poseer unas propiedades físicas y mecánicas inferiores así como por una importante dispersión de los valores de las propiedades dentro de cada árbol.

A su vez, se observa una importante progresión de las propiedades en sentido radial, que evoluciona a medida que el árbol envejece, siendo la diferencia más acusada en las proximidades de la médula. Por este motivo, al igual que ocurre con especies como el haya, es necesario destinar a diferentes aplicaciones las distintas áreas del tronco de un eucalipto, para absorber la variación entre propiedades que existe en sentido radial y conseguir productos finales con propiedades homogéneas y adecuadas a cada aplicación.

Esta dispersión disminuye con la edad, a consecuencia de la formación de madera madura y la estabilización de la estructura de las fibras. De acuerdo a los resultados obtenidos en Galicia, el intervalo de edad a partir del cual la madera de *E. globulus* puede comenzar a considerarse madura y con unas propiedades uniformes puede situarse en torno a los 30-35 años dependiendo del tratamiento selvícola aplicado.

A partir de esta edad las propiedades mecánicas de la madera de *E. globulus* se revelan excepcionales y muy superiores a las de otras frondosas europeas como el roble. Estas propiedades, unidas al valor de la densidad y dureza de la madera, le abren importantes posibilidades en numerosas aplicaciones relacionadas con la carpintería, el mobiliario y la construcción.

Otras propiedades como la flexión dinámica son también elevadas, confirmando la aptitud de la madera ante todas aquellas aplicaciones en que esté sometida a impactos, como pueden ser los mangos de numerosos aperos y herramientas agrícolas, de bricolaje, etc.

En cuanto a la estabilidad de la madera, si se seleccionan los despieces para trabajar con madera de orientación radial, y se realiza una puesta en servicio de la madera con un adecuado contenido de humedad, la estabilidad dimensional del eucalipto puede considerarse similar a la del haya, posiblemente, la frondosa europea más empleada en carpintería y mobiliario.

Bibliografía

GUINDEO, A.; GARCÍA, L.; PERAZA, F.; ARRIAGA, F.; KASNER, C.; MEDINA, G.; DE PALACIOS, P.; TOUZA, M. 1997. "Especies de madera para carpintería, construcción y mobiliario". Ed. AITIM, Madrid.

HOLZAPPEL. 1993. "Hemicelulosos". Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition. Ed. Academic Press, Londres.

MAIDEN, J.H. 1924. "Forest Flora of New South Wales". Sydney, Australia.

McGINNIS, G.D.; SHAFIZADEH, F. 1990. "Celulosa y hemicelulosa". Pulpa y papel. Química y tecnología Química. Ed. Wiley & Sons, Inc., México D.F.

MONTROYA, J.M. 1995. "El eucalipto". Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

PERAZA, F. 1995. "Estudio del procesado del eucalipto para su utilización como madera sólida". Boletín de información técnica de AITIM, 175.

PEREIRA, H. 1988. "Variability in the chemical composition of plantation eucalypts (*Eucalyptus globulus* Labill.)". Wood and Fiber Science 20(1).

SJÖSTRÖM, E. 1993. "Wood chemistry. Fundamentals and applications". Ed. Academic Press, San Diego.

TOUZA, M. 1997. "Posibilidades de transformación de la madera de eucalipto blanco". Revista del Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera, 0.

TOUZA, M. 2001. "Proyecto FAIR CT 98-9579: Proyecto de investigación sobre sistemas de aserrado adecuados para procesar *Eucalyptus globulus* con tensiones de crecimiento". Revista del Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera, 6.