

CONGRESO

# LIGNOMAD [19]

CONGRESO SOBRE CONSTRUCCIÓN CON MADERA  
Y OTROS MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS

XUNTA DE GALICIA

María Pilar Giraldo Forero, Ana María Lacasta Palacio y  
M<sup>a</sup> Azahara Soilán Cañas

Axencia Galega de Industria Forestal

# CONGRESO LIGNOMAD [19]

## **LIBRO DE PONENCIAS**

Congreso sobre Construcción con Madera  
y otros Materiales Lignocelulósicos

XUNTA DE GALICIA

## Comité organizador

M<sup>a</sup> Azahara Soilán Cañás  
Centro de Innovación e Servizos Tecnolóxicos da  
Madeira de Galicia (CIS Madeira)  
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

Montserrat Rodríguez Ogea  
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

José Ignacio Lema Piñeiro  
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

Pablo Leis Mol  
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

Ana María Lacasta Palacio  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

María Pilar Giraldo Forero  
Institut Català de la Fusta (INCAFUST)  
Consorci Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de  
Catalunya (CTFC)

## Comité Científico

José Manuel Cabrero  
Universidad de Navarra - Departamento de Construcción,  
Instalaciones y Estructuras

Miguel Esteban Herrero  
Universidad Politécnica de Madrid - ETSI Montes,  
Forestal y del Medio Natural

Jorge Galván  
Universidad Nebrija / INIA

Ana María Lacasta  
Universitat Politècnica de Catalunya - Departamento de  
Tecnología de la Arquitectura

Azahara Soilán  
Centro de Innovación e Servizos Tecnolóxicos  
da Madeira de Galicia (CIS Madeira)  
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

María Pilar Giraldo  
INCAFUST - Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de  
Catalunya (CTFC) / Universitat Politècnica de Catalunya

Ignacio Oteiza  
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC  
Departamento de Construcción

María José Barriola  
Área de Desarrollo Sostenible y Biociencias, Tknika, País vasco

Manuel Touza  
Centro de Innovación e Servizos Tecnolóxicos da Madeira de  
Galicia (CIS Madeira)  
Axencia Galega da Industria Forestal (XERA)

Rubén Regueira Gay  
PEMADE (Plataforma de Ingeniería de la Madera Estructural) –  
Universidad de Santiago de Compostela

María Portela Barral  
PEMADE (Plataforma de Ingeniería de la Madera Estructural) –  
Universidad de Santiago de Compostela

Joaquín Montón  
Universitat Politècnica de Catalunya Departamento de  
Tecnología de la Arquitectura

Amaia Butron Janices  
Área de Materiales de Construcción / Building Technologies  
Division. TECNALIA

Josu Benito Ayúcar  
Área de Edificación y Ciudad / Building Technologies Division.  
TECNALIA

Abel Vega Cueto  
Área de Tecnología, Madera Estructural y Construcción  
Centro Tecnológico Forestal y de la Madera de Asturias  
(CETEMAS)

Santiago Sánchez Beitia  
E.T.S. de Arquitectura de Donostia-San Sebastián, Universidad  
del País Vasco (UPV/EHU)

Dolores Otero Chans  
Departamento de Construcciones y Estructuras Arquitectónicas,  
Civiles y Aeronáuticas. Universidad de A Coruña.

## Edición

Alina Avellaneda López  
María Pilar Giraldo Forero  
Ana María Lacasta Palacio

**ISBN 978-84-09-13315-4**



Esta obra está bajo una Licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0.  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

Felipe Riola-Parada, Kamyar Tavoussi, Alireza Fadai, Wolfgang Winter <b>Elementos estructurales híbridos: vigas madera-acero y placas nervadas madera-acero-hormigón</b>	140
<b>SESIÓN 5</b>	
Iñaki del Prim Gracia <b>Edificios Terciarios Passivhaus con estructura de madera</b>	145
Lankes, Sascha <b>20 años de utilización de la madera en la construcción de viviendas en Alemania Los comienzos - El largo camino - La aceptación</b>	151
Francisco Arriaga, Guillermo Íñiguez, Miguel Esteban. <b>Eurocódigo 5 – estructuras de madera - 2020</b>	156
Álvaro López, Zara Álvarez, MRM Arquitectos, Antón Varela García, IDOM consulting, engineering, architecture S.A. <b>Estructuras de madera en edificios no residenciales</b>	165
Guadalupe Olvera, Miguel Esteban, Gabriel H. Virgen, Ignacio Bobadilla. <b>Pronóstico del riesgo de caída y fractura en arbolado urbano mediante métodos no destructivos: una revisión</b>	170
<b>Sesión de posters 2</b>	
David Lorenzo, Manuel Touza, Juan Fernández-Golfín, Alfonso Lozano, Josu Benito, Manuel Guaita. <b>Durabilidad y estado actual de una casa construida en Eucalyptus globulus en Galicia tras 17 años de exposición</b>	175
Milagros Casado, Iosody Silva, Luis Acuña, Jesús Martín-Gil, Laura Ponce, Pablo Martín-Ramos. <b>Estudio de la actividad antifúngica de tratamientos con quitosano en madera de Populus</b>	180
Francisco Rescalvo, Leandro Morillas, María Rodríguez, María A. Ripoll, I. Valverde-Palacios, A. Gallego. <b>Caracterización mecánica de la madera del clon I-214 de una chopera de la Cuenca del Henares</b>	185
Roberto Martínez, José-A. Balmori, David Escolano, Alberto Izquierdo-Fuente, Juan-José Villacorta-Calvo, Luis-Alfonso Basterra. <b>Detección y localización de larvas de cerambícidos mediante un array de micros MEMS</b>	190
Laia Haurie, María Pilar Giraldo, Ana María Lacasta. <b>Comportamiento de reacción al fuego del corcho</b>	195
María Pilar Giraldo, Ana María Lacasta, Andreu Segura. <b>Estudio sobre medidas de protección pasiva contra el fuego en fachadas de madera</b>	201
Alina Avellaneda, Joaquín Montón, Laia Haurie. <b>Comportamiento al fuego del bambú, Guadua angustifolia</b>	207

## Caracterización mecánica de la madera del clon I-214 de una chopera de la Cuenca del Henares

Francisco Rescalvo<sup>a</sup>, Leandro Morillas<sup>b</sup>, María Rodríguez<sup>b</sup>, María A. Ripoll<sup>c</sup>, I. Valverde-Palacios<sup>a</sup>, A. Gallego<sup>a</sup>

<sup>a</sup>ETS Ingeniería de Edificación, Universidad de Granada; <sup>b</sup>Dpto. Mecánica de Estructuras, Universidad de Granada; <sup>c</sup>Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía, Camino del Purchil, Granada  
adime@ugr.es

**Palabras clave:** Madera de chopo; Caracterización mecánica; Ensayos no destructivos

### Resumen

Se espera que la demanda de madera crezca hasta un 15% en la próxima década en el sector de la construcción. La utilización de productos de ingeniería como la madera laminada, contralaminada y el LVL, abren buenas oportunidades a maderas de baja graduación como el chopo. Y para ello, su caracterización mecánica es esencial.

El chopo es uno de los árboles más eficientes en términos de sostenibilidad, ya que supone una captura del orden de 11 toneladas/ha de CO<sub>2</sub> por año.

El trabajo presenta los resultados de la caracterización mecánica del clon comúnmente plantado en Europa, el I-214, extraído de la cuenca del Henares (Guadalajara). La caracterización se ha realizado usando vigas aserradas, a través de ensayos destructivos (flexión a cuatro puntos) y ensayos no destructivos (método de resonancias), comparando ambas metodologías en términos del módulo de elasticidad (MOE). Se hace una asignación de las vigas a clases resistentes, usando clasificación visual con la norma española (versión vigente hasta 1997, que incluía el chopo) y la norma francesa (vigente y que incluye al chopo), y usando valores de densidad, MOE y MOR (módulo de rotura).

### Introducción

Actualmente más del 65-70% del chopo producido en España se usa para tableros contrachapados. España es líder europeo en este sector. Su uso actual como madera estructural es muy limitado o casi nulo en nuestro país, debido a la falta de normas que incluyan a esta especie. La versión de 1997 de la norma UNE 56.544 (*Clasificación visual de la madera aserrada para su uso estructural. Madera de coníferas*) incluía al chopo junto con las coníferas. Sin embargo, en versiones posteriores de esta norma, el chopo fue excluido por falta de datos sobre la caracterización mecánica de la madera procedente de los clones más usados. La norma francesa NF B 52-001-1:2011 incluye 4 clones de chopo: *populusxauramericana* "Robusta", "Dorskamp", "I-214" e "I-4551".

Con el ánimo de devolver el chopo, de baja densidad y alta estabilidad dimensional, a la norma UNE 56.544 e incrementar su utilización estructural, hace pocos años Casado y colaboradores realizaron una caracterización mecánica y propuesta de clasificación de la madera estructural del clon I-214, usando una plantación de la provincia de

Palencia. En Casado (2012, 2015), mediante ensayos destructivos, a flexión, un 55.3% de las vigas fueron rechazadas, un 34% clasificadas C14 y un 7.4% C18, según la norma española de asignación a clases resistentes UNE-EN 338:2010. Usando clasificación visual con UNE 56.544:1997, el 46% de las vigas fueron correctamente clasificadas, mientras que el 17% y el 37% fueron sobre e infra clasificadas, respectivamente. Sin embargo, usando la norma francesa NF B 52-001:2007, se obtuvieron mejores resultados de clasificación: un 70% correctamente clasificadas, por un 23% y un 8% sobre e infra clasificadas. La razón de estos resultados tan modestos de clasificación fue la existencia de nudos en la madera, debido a una mala gestión de la plantación (falta de podas adecuadas). Asimismo, los autores obtuvieron valores de resistencia a flexión (MOR) muy similares a los de muchas coníferas, con una rigidez (MOE) comparativamente menor, siendo esta la causa de la asignación de una baja clase resistente. Por ello, los autores proponen dos nuevas clases resistentes (CHP1 y CHP2), que permitirían que más de la mitad de las piezas actualmente rechazadas podrían ser clasificadas como madera estructural y, por tanto, comercializadas. Siguiendo en la misma línea de Casado (2012, 2015), se ha realizado una caracterización mecánica similar, pero sobre una chopera bien gestionada del mismo clon, situada en un clima similar (cuenca del Henares, Guadalajara), cuyos resultados se presentan aquí.

## **Materiales y métodos**

### Madera

De una plantación de 13 años del clon I-214, situada en Yunquera de Henares (Guadalajara), se eligieron 15 árboles ubicados en su zona central, cortándose en octubre de 2018. El marco de plantación era 5,5x5,5m<sup>2</sup> (330pies por Ha), plantada a raíz profunda sin riegos, y con podas adecuadas para asegurar una madera con pocos nudos en los primeros 6m del árbol. El DBH medio fue de 38,1±3,2mm (DS) y la densidad media en verde de 750kg/m<sup>3</sup>. Las trozas se transportaron a Maderas Pinosoria, donde se secaron 10 días al aire y 15 días en estufa a 45°C y se aserraron tablones. Posteriormente, se mecanizaron 75 vigas de ensayo, de dimensiones de 60x 120mm<sup>2</sup> de sección y 1250mm de largo. La figura 1 muestra varias fases de este proceso.



*Figura 1. Extracción de trozas y tablones.*

### Clasificación visual

De todas las vigas se realizó una clasificación visual siguiendo: i) La UNE EN 56.544:2011; ii) La UNE EN 56.544:1997, que incluía el chopo; iii) La NF B 52-001:2007, que incluye el clon I-214. Las normas clasifican las vigas en tres clases: rechazo, ME-1 y

ME-2 (española), y ST-II y ST-III (francesa). La más restrictiva en relación con los nudos es la normativa española actual y la menos la normativa francesa.

#### Ensayo no destructivo: ensayo de vibraciones

Todas las vigas fueron sometidas a un ensayo de vibración libre. Sobre el extremo de cada viga se colocó un acelerómetro Fakopp SD-02 resonante en 20 kHz, y se golpeó con un martillo sobre el extremo opuesto. La señal de respuesta se recogió con un osciloscopio Picoscope® 4424 con 80 MS/s. Con MATLAB, se obtuvo la frecuencia de resonancia fundamental de cada viga. Con esta frecuencia,  $f_1$ , y asumiendo una sección constante de la viga y la formación de ondas estacionarias unidimensionales, el módulo de elasticidad dinámico de la viga,  $MOE_{din}$ , se puede estimar usando:

$$v = 2Lf_1 \quad (1)$$

$$MOE_{din} = \rho v^2 \quad (2)$$

donde  $v$  es la velocidad de propagación,  $L$  la longitud de la viga y  $\rho$  su densidad.

#### Ensayo destructivo: ensayo a flexión a cuatro puntos y densidad

Cada viga fue sometida a flexión a 4 puntos con metodología análoga a la EN 408:2011 mediante una máquina multiensayos S-110, de Control S.A., con una célula de carga de 100 kN y control de desplazamiento de 3.8 mm/min. Para medir deformaciones, sobre cada viga se pegaron 4 galgas extensométricas (Fig. 2). La figura 3 muestra un ejemplo de curvas esfuerzo-deformación y esfuerzo-tiempo de un árbol. De los dos extremos sin daño de cada viga tras el ensayo, se extrajeron piezas para medida de la densidad a temperatura ambiente y en seco según la norma UNE-EN 13183-1/AC:2004.

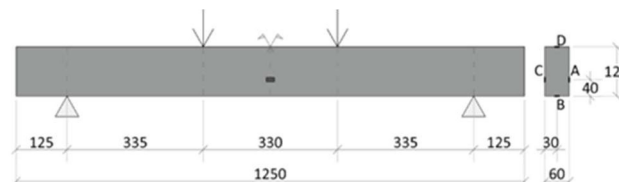


Figura 2: Esquema de ensayo a flexión.

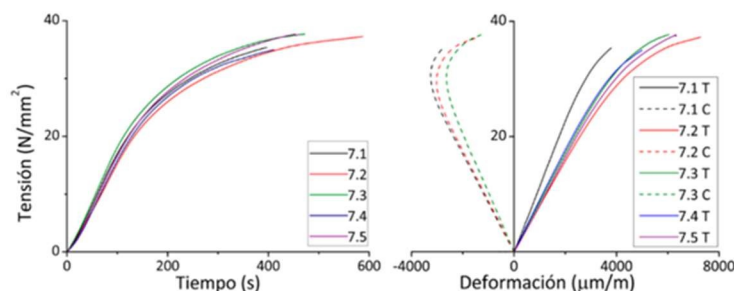


Figura 3: Curvas tensión-tiempo y tensión-deformación de las 5 vigas del árbol 7.

## Resultados

### Clasificación visual

La figura 4 muestra los resultados de clasificación visual según las tres normas. El porcentaje de rechazos es de tan solo el 5%. Según la UNE 56.544:2011, el tamaño de

nudo es la causa del 90% de las vigas clasificadas como ME-2. Según la norma UNE 56.544:1997, la principal causa para no conseguir la calidad ME-1 fue la presencia de nudos. La causa de rechazo fue la presencia de gemas. Según la norma francesa NF B 52-001:2007, la causa de clasificar las vigas como ST-III siempre son los nudos.

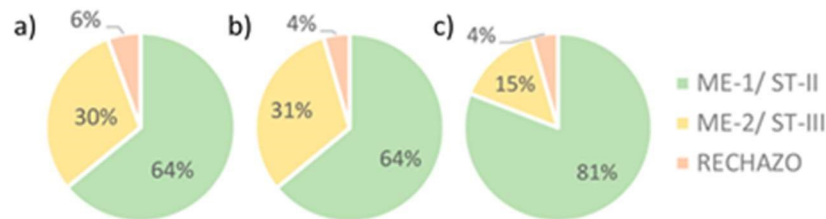


Figura 4: Clasificación visual según las diferentes normativas. a) UNE-EN 56.544:2011. b) UNE-EN 56544:1997. c) NF B 52-001:2007.

### MOE<sub>din</sub>, MOE<sub>est</sub>, MOR, densidad y clases resistentes

La Tabla 1 muestra los resultados medios y percentiles de densidad, humedad, valores mecánicos de los ensayos a flexión (MOE<sub>est</sub> y MOR), y el MOE<sub>din</sub>. La figura 5 muestra los resultados del MOE para cada viga, comparando el MOE<sub>din</sub> y el MOE<sub>est</sub>. Se observa una correlación positiva bastante aceptable entre ambas metodologías. La diferencia entre valores medios entre MOE<sub>est</sub> y MOE<sub>din</sub> es bastante baja, de solo el 6,8% en valores medios y mucho menor para los percentiles 5% y 95%.

Tabla 1. Resultado de ensayos.

	Densidad (H 10%) [kg/m <sup>3</sup> ]	Densidad básica (H 0%) [kg/m <sup>3</sup> ]	Humedad	MOR [MPa]	MOE <sub>est</sub> [MPa]	MOE <sub>din</sub> [MPa]
Valor medio	350	330	9,4%	38	8818	8211
5% percentil	314	296	8,6%	30	7294	7045
95% percentil	407	388	10,7%	49	10853	10139

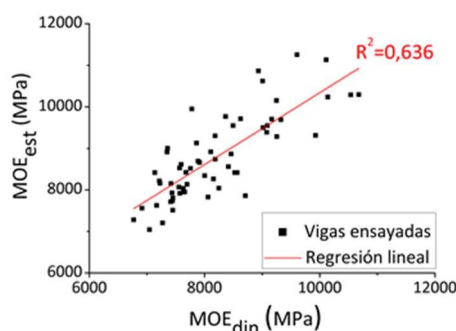


Figura 5: MOE<sub>est</sub> frente a MOE<sub>din</sub> de cada viga

La normativa vigente de UNE EN 1912:2012 de asignación de calidades visuales y especies excluye el chopo, por lo que se plantea asimilar los criterios correspondientes al pino radiata y pináster, lo que era práctica habitual en la UNE EN 56544:1977. El 64% de las vigas se clasificaron como C24 y el 30% como C18. Según la norma francesa NF B52-001:2007, más del 80% de las vigas son clase resistente C24, y casi un 15% son C18.

Usando el MOE<sub>din</sub> de los ensayos no destructivos, los resultados de clasificación resistente dan como resultado que la mayoría de las vigas son C14, C16 y C18, tal y



como se observa en la figura 6. Usando los resultados de los ensayos destructivos, la clase resistente se puede asignar por densidad, resistencia o rigidez, quedándose al final con la más restrictiva. La figura 6 también muestra los resultados usando cada variable física y la más restrictiva.

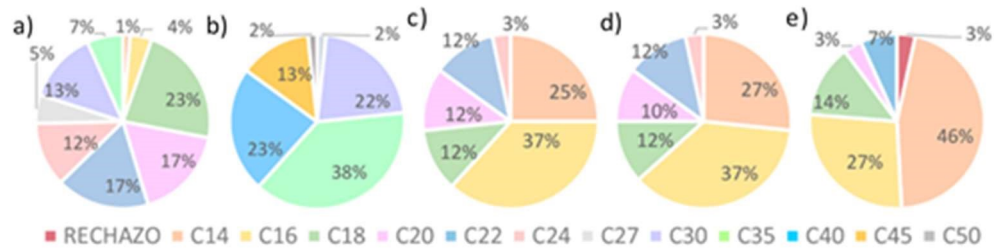


Figura 6. Asignación de clases resistentes. a) Según densidad. b) Según MOR. c) Según MOE<sub>est</sub> d) Según variable mecánica más restrictiva. e) Según MOE<sub>din</sub>.

## Conclusiones

De los resultados presentados se deduce que, para esta plantación:

- i. Según los ensayos destructivos, la variable que fuertemente condiciona la clase resistente es la rigidez (MOE), ya que su resistencia es totalmente comparable a la de otras especies como las coníferas. La mayoría de las vigas (el 76%) se clasifican C14, C16 o C18.
- ii. Usando el MOE<sub>din</sub> el 83% de las vigas también se clasifican C14, C16 o C18. Además, el 44% de las vigas se clasifican exactamente igual con el ensayo destructivo y el no destructivo, dando pues un buen rango de validez al ensayo de vibraciones para clasificación.
- iii. La clasificación visual aporta una asignación de clases del 94% como C24 y C18, es decir, sobre estima la clase resistente.
- iv. El número de rechazos es muy bajo (en torno al 5-6%), muy inferior al obtenido por los autores de (1,2), lo que demuestra la enorme importancia de una buena gestión de la plantación, y en especial de sus podas.

Se espera en el futuro ir ampliando la base de datos a otras procedencias, clones y tratamientos culturales.

## Agradecimientos

El trabajo se ha financiado con el proyecto COMPOPTimber BIA2017-82650-R, <http://compop.ugr.es>, y el apoyo en la obtención de la madera y transporte de INDUSTRIAS MONZÓN y el secado y aserrado de Maderas Pinosoria.

## Referencias

- (1) Casado, M.; Acuña, L.; Basterra, A.; Ramón, G.; Vecilla, D. Grading of structural timber of Populus x euramericana clone I-214. Holzforschung. 2012, 633, 66.
- (2) Casado, M.; Acuña, L.; Relea, E.; Basterra, A.; Ramón, G.; López, G. Structural timber classification of Populus x Euroamericano I-214. In V Congreso Nacional y II Congreso Ibérico Agroingeniería. Lugo, España. 2009, 978-84.