

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/>

<b>SESIÓN 6</b>	
Oliver Style, Bega Clavero, Vicenç Fulcarà <b>ISOBIO: rendimiento higrotérmico medido de un panel aislante estructural con materiales de origen biológico</b>	212
Eleana Spavento, Milagros Casado, Luis Acuña, Luis-Alfonso Basterra <b>Influencia de las dimensiones y calidades en la resistencia a flexión estática en madera aserrada de Populus sp</b>	217
Mar Alonso, Juan Enrique Martínez, Felipe Álvarez, Juan José del Coz Díaz, Alfonso Lozano. <b>Caracterización térmica de la madera de castaño para su uso como elemento constructivo</b>	222
Miguel Yurrita, José Manuel Cabrero. <b>Rotura frágil en uniones estructurales de madera con conectores metálicos de gran diámetro con cargas paralelas a la fibra</b>	227
Abel Vega, Amelia González, Isabel Fernández, Soledad Rodríguez, Rosa Arcas, Celia Martínez-Alonso. <b>Evaluación de propiedades térmicas y reacción al fuego de tableros de fibras de alta densidad bajo diferentes tratamientos de ignifugación Proyecto LIFE EcoTimberCell</b>	232
<b>SESIÓN 7</b>	
Carlos José Rey Cabezudo <b>Proceso de ignifugación en profundidad para madera maciza</b>	237
Lorena Sánchez Vivas, Gray Mullins, Kelly Costello, James R. Mihelcic. <b>Strength Values of Bamboo for Structural Applications</b>	243
Marcel Vilches, Eduard Correal, Juan Carlos Cabrero, Eva Hermoso. <b>Viabilidad del encolado del Pinus halepensis para la fabricación de madera contralaminada</b>	248
Rosa M <sup>a</sup> Arcas, Paulo Malho. <b>Hardboard de eucalipto, material natural. Un valor en alza</b>	253

## Caracterización térmica de la madera de castaño para su uso como elemento constructivo

Mar Alonso<sup>a</sup>, Juan Enrique Martínez<sup>a</sup>, Felipe Álvarez<sup>a</sup>, Juan José del Coz Díaz<sup>a</sup>, Alfonso Lozano<sup>a</sup>  
<sup>a</sup>Universidad de Oviedo, Edificio Dptal. Oeste nº7 Campus de Viesques, 33204, Gijón, Asturias;  
mar@constru.uniovi.es

**Palabras clave:** madera local, castaño, sostenibilidad, propiedades térmicas

### Resumen

La madera es un material natural y renovable que, si puede ser producido localmente, permite incrementar de manera notable la sostenibilidad de las construcciones. El uso de la madera como material estructural tiene un buen comportamiento mecánico y la mayoría de las especies tienen buenas propiedades térmicas.

Para favorecer la integración de estos materiales naturales y sostenibles en el sector de la construcción, es importante mostrar su comportamiento y eficiencia mediante ensayos y pruebas experimentales. Entre estos ensayos se encuentran los necesarios para realizar la caracterización térmica de maderas locales. En este artículo se realiza un estudio experimental con la finalidad de caracterizar térmicamente la madera de castaño, un gran recurso maderero presente sobre todo en el norte de España y una solución sostenible y ecológica empleada tanto en obra nueva como en rehabilitación. Dicha caracterización se llevará a cabo en cada una de sus direcciones principales: axial, radial y tangencial.

Para la caracterización térmica se utiliza el equipo TCI C-Therm, que emplea la técnica de la fuente plana transitoria modificada (MTPS). Mediante este equipamiento se obtiene la conductividad térmica y el calor específico de las muestras mediante una técnica No Destructiva. Los ensayos experimentales constan de varias mediciones, necesarias para obtener un valor representativo de las propiedades térmicas sobre muestras de viga maciza de castaño. Las mediciones de conductividad se realizan en las tres direcciones principales, axial, radial y tangencial, con el fin de identificar la anisotropía del material.

Los resultados de este estudio dan lugar a una caracterización térmica de una madera local. Estos valores permitirán completar la bibliografía existente sobre este material, ampliar sus aplicaciones como elemento constructivo y aportar información a los organismos pertinentes para su consideración en la normativa vigente.

Finalmente, la caracterización térmica del castaño analizado en este estudio se compara con las propiedades térmicas del abeto, especie más habitual en construcciones de madera.



## Introducción

Las especies de madera, en especial las maderas de conífera, tienen una baja conductividad térmica en comparación a otros materiales de construcción, como el acero o el hormigón. Por ello, la madera se emplea para mejorar la eficiencia energética de las construcciones, además de por sus importantes ventajas estéticas y medioambientales.

Independientemente del tipo de especie, la gran variación en la anatomía y densidad de las maderas, proporciona una gran variación en sus propiedades (1). El castaño, al igual que el resto de maderas, es un material ortótropo, la fibra que la compone posee 3 ejes ortogonales y sus propiedades varían dependiendo de la dirección donde sean medidas.

Otros factores que influyen en la medición de la conductividad térmica son la densidad, el contenido en humedad de la muestra, la microestructura del elemento, la temperatura y la dirección de la fibra en relación con la dirección del flujo de calor (1) (2) (3). El estudio de la conductividad térmica en maderas más habituales como el abeto, ya se ha realizado (4). Estas investigaciones muestran que la conductividad térmica en la dirección longitudinal (paralela a la fibra) es mayor que en las otras direcciones. En la dirección radial, la conductividad térmica es aproximadamente un 10% mayor que en la dirección tangencial.

MacLean determinó que, para muestras de abeto y roble con un contenido en humedad entre el 6 y el 15%, la conductividad térmica en la dirección longitudinal varía entre 2,25 y 2,75 veces el valor de la misma propiedad en la dirección perpendicular a la fibra (5).

En este trabajo, se lleva a cabo un estudio experimental que permite caracterizar térmicamente la madera local de castaño en cada una de las direcciones principales. Esta madera es abundante en la región del Principado de Asturias, y su explotación a nivel local es una solución muy interesante para mejorar la sostenibilidad del sector de la construcción.

La medición de la conductividad térmica en las muestras se realiza sobre 5 probetas de castaño. La conductividad térmica se obtiene en las tres direcciones principales de la probeta: dirección axial, radial y tangencial. Con el fin de garantizar la homogeneidad e identificar posibles heterogeneidades en las medidas, en cada una de las direcciones se realizan 3 ensayos en 3 días diferentes, distanciados aproximadamente una semana. Esta caracterización es muy novedosa, por lo que el número de mediciones debe ser suficiente como para extraer conclusiones relevantes. Esta caracterización térmica ya ha sido realizada por otros autores en otras maderas como roble, picea y alerce (6).

## Ensayos experimentales

Inicialmente, se determinó el contenido de humedad de cada una de las muestras empleando un xilohigrómetro de resistencia eléctrica para madera MC-460 de Exotek Instruments® (Fig. 1). La medición del contenido de humedad debe estar controlada debido a la influencia que posee en el valor de la conductividad térmica de la madera. Por tanto, variaciones de humedad significativas pueden dar lugar a variaciones en las conductividades. En este estudio, se ha intentado mantener constante la humedad en las muestras, y se ha medido en todas ellas para detectar posibles variaciones.

Posteriormente, se midió la conductividad térmica empleando un analizador de conductividad térmica, TCI de C-Therm®. Esta es una tecnología de última generación que se emplea para medir conductividad y efusividad térmica en diferentes tipos de materiales. Una de las principales ventajas de esta técnica es que son ensayos No Destructivos que se pueden repetir varias veces sobre la misma muestra. El medidor de conductividad TCI emplea la técnica de la fuente plana transitoria modificada especificada en la norma ASTM D7984-16. Esta técnica emplea un sensor reflector que aplica una fuente de calor sobre una de las caras de la muestra de manera constante e instantánea. El equipamiento permite obtener valores de conductividad térmica y efusividad de manera directa. Para realizar los ensayos sobre las muestras de madera se coloca un peso sobre la probeta para garantizar el contacto entre el sensor y la probeta de madera (Fig. 2). Se ensayaron un total de 5 muestras, en las tres direcciones principales: axial; radial y tangencial.



Figura 1. Medición de la humedad relativa en las muestras estudiadas



Figura 2. Medición de conductividad térmica sobre una de las muestras

## Resultados

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados. La Tabla 1 indica los valores de humedad relativa en el interior de cada una de las muestras. Las muestras se mantuvieron en un ambiente de humedad constante, garantizando que todas ellas se encontraban estables.

Tabla 1. Resultados de humedad relativa en las muestras

Muestra	Humedad [%]
1	9.8
2	10.2
3	11.2
4	10.5
5	12.5
6	10.1
7	9.4
8	11.8

Los resultados más representativos de los ensayos de conductividad térmica para la muestra 2 en las tres direcciones principales se muestran en la Figura 3:





Figura 3. Resultados de conductividad térmica para las 3 direcciones en la muestra 2.

Tabla 2. Resultados de conductividad en las muestras.

Muestra	K axial [W/mK] / Desviación estándar.	K radial [W/mK] / Desviación estándar.	K tangencial [W/mK] / Desviación estándar.
1	0.367 / 0.068	0.198 / 0.024	0.197 / 0.072
2	0.357 / 0.006	0.109 / 0.009	0.159 / 0.039
3	0.354 / 0.049	0.110 / 0.008	0.162 / 0.056
4	0.325 / 0.026	0.134 / 0.026	0.218 / 0.100
5	0.409 / 0.024	0.232 / 0.097	0.167 / 0.085
6	0.359 / 0.063	0.204 / 0.081	0.183 / 0.085
7	0.352 / 0.035	0.153 / 0.067	0.144 / 0.056
8	0.394 / 0.073	0.222 / 0.037	0.110 / 0.057

Los valores de conductividad térmica medios obtenidos para cada una de las 5 muestras se incluyen en la Tabla 2. En esta tabla también se indica la desviación estándar obtenida en el cálculo de dicha media. Este valor representa la dispersión que tienen los datos obtenidos respecto a la media calculada.

### Conclusiones

Las principales conclusiones de este estudio muestran un claro comportamiento ortótropo de la madera de castaño en sus propiedades térmicas. Los valores obtenidos en las tres direcciones son diferentes y mantienen una coherencia en todas las muestras estudiadas.

El valor menor de la conductividad térmica se obtiene en la dirección radial para todas las muestras analizadas. Mientras que el mayor se obtiene en la dirección axial.

La conductividad en la dirección axial puede llegar a ser más del doble que el valor obtenido en la dirección radial (Tabla 2). Mientras, la dirección tangencial se encuentra en el rango de valores de la dirección radial.

Tal y como se muestra en la figura 3 y en la Tabla 2, los valores medidos en la dirección radial son mucho más homogéneos y, por ello, la desviación estándar es menor. Esto significa que el valor medio obtenido es realmente representativo de la conductividad



térmica del material en esa dirección. Sin embargo, esto no se mantiene en las otras direcciones, donde las medidas son menos homogéneas y los valores de desviación estándar obtenidos son más elevados.

Finalmente, en la Tabla 3 se muestra una comparativa de los valores de conductividad térmica en las direcciones axial y radial para diferentes especies. Se incluyen especies previamente estudiadas por otros autores (6), así como los valores obtenidos en el castaño. Esta tabla permite realizar una comparación y comprobar que las propiedades térmicas del castaño son tan buenas como las de otras maderas importadas.

*Tabla 3. Tabla comparativa de valores de conductividad térmica de diferentes especies.*

<b>Muestra</b>	<b>Roble (6)</b>	<b>Picea (6)</b>	<b>Alerce (6)</b>	<b>Castaño</b>
<b>K axial [W/mK]</b>	0.25-0.46	0.13 – 0.23	0.17 – 0.32	<b>0.32-0.39</b>
<b>K radial [W/mK]</b>	0.16	0.08	0.12	<b>0.11-0.22</b>

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen la financiación de los proyectos FC-GRUPIN-IDI/2018/000221 y PGC2018-098459-B-I00, financiados ambos con fondos FEDER.

### **Referencias**

- (1) Vay, O.; De Borst, K.; Hansmann, C. Thermal conductivity of wood at angles to the principal anatomical directions *Wood Sci Technol.* 2015, 49: 577.
- (2) Suleiman, B.M.; Larfeldt, J.; Leckner, B.; Gustavsson, M. Thermal conductivity and diffusivity of wood. *Wood Science and Technology.* 1999, 33: 465-473.
- (3) Zi-Tao Yu; Xu Xu; Li-Wu Fan; Ya-Cai Hu; Ke-Fa Cen. Experimental Measurements of Thermal Conductivity of Wood Species in China: Effects of Density, Temperature, and Moisture Content. *Forest Products Journal.* 2011, 61: 130-135. 10.13073/0015-7473-61.2.130.
- (4) Yapici, F.; Ozcifci, A.; Esen, R.; Kurt, S. The effect of grain angle and species on thermal conductivity of some selected wood species. *BioResources.* 2011, 6(3): 2757-2762.
- (5) MacLean, J. D. Thermal conductivity of wood. *Heating, Piping, Air,* 1941, 13: 380-391
- (6) Lagüela, S.; Bison, P.; Peron, F.; Romagnoni P. Thermal conductivity measurements on wood materials with transient plane source technique. *Thermochimica Acta.* 2015, 60: 45-51