

Proyecto MEND-ME:

Innovación para clasificar madera estructural mediante técnicas no destructivas y para rehabilitarla en obra

Coordinador del proyecto y contacto: Miguel Ángel Abián
mabian@aidimme.es

Newsletter # 3-2018/19

Difusión de proyectos

En este proyecto de I+D en cooperación con empresas valencianas se investiga la evaluación no destructiva de madera estructural y su clasificación según el Código Técnico de la Edificación, así como nuevas soluciones y productos de refuerzo y consolidación para rehabilitar sistemas constructivos de madera.

Recientemente ha concluido la segunda anualidad del proyecto de I+D en cooperación con empresas **MEND-ME** (Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación). El proyecto, que consta de tres anualidades, está financiado por el **IVACE** (Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial). El proyecto está también cofinanciado por el Programa Operativo **FEDER** de la Comunidad Valenciana 2014-2020.

La primera anualidad del proyecto (enero 2017-mayo 2018) fue financiada también por el IVACE y por fondos FEDER. Los resultados del proyecto se dirigen principalmente a la industria de 1ª y 2ª transformación de la madera, a empresas y profesionales de la construcción y la rehabilitación, así como a estudios de arquitectura e ingeniería para construcción y estructuras.

El objetivo general de MEND-ME radica, en primer lugar, en **desarrollar una metodología de evaluación no destructiva específica para madera estructural y después aplicarla los elementos estructurales de madera antigua presente en construcción y rehabilitación para caracterizarlos mecánicamente y clasificarlos según el CTE**, prestando especial atención a las especies de madera que se usaron en construcción en la Comunidad Valenciana.

En segundo lugar, el objetivo general del proyecto radica en proponer e implantar **productos y soluciones innovadores más efectivas que las actuales para reforzar y consolidar estructuras**, tanto de madera antigua o patrimonial como de madera actual. Estos productos y soluciones beneficiarán al **patrimonio histórico valenciano**, en el cual abundan las estructuras y elementos de madera.

La necesidad del proyecto surge de que existe un desconocimiento generalizado sobre las propiedades mecánicas de la madera antigua presente en los edificios, lo que limita mucho o directamente imposibilita la rehabilitación de edificios y estructuras con madera de hace más de 40 años.

Según datos de AIDIMME, **el 70% de la madera antigua/patrimonial** que se sustituye en España, principalmente por desconocimiento de su estado o porque superficialmente presenta deterioros, podría bien conservarse o bien rehabilitarse con refuerzos o reparaciones muy localizadas. La madera antigua y patrimonial suele presentar deterioros o degradaciones, de origen biótico o abiótico. Muchas degradaciones son superficiales y no afectan a la resistencia mecánica.

Hasta la fecha, en la segunda anualidad del proyecto se ha desarrollado una metodología de evaluación no destructiva basada en la combinación optimizada de ensayos no destructivos y criterios visuales (número de nudos relevantes y tamaño, nudos agrupados, anillos, etc.). Esta metodología puede aplicarse *in situ* en elementos ya instalados y permite determinar fiablemente las propiedades mecánicas de la madera, tanto antigua como nueva, y clasificarla madera según el sistema de clases resistentes del CTE (en el caso de coníferas, C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 y C50; en el caso de frondosas, D18, D24, D30, D35, D40, D50, D60 y D70). En Europa, toda la madera para construcción debe estar caracterizada según ese sistema de clases resistentes y llevar el marcado CE.

Los **criterios visuales** utilizados en la metodología tienen en cuenta, entre otros parámetros, la proporción de albura y duramen de la madera, así como la cantidad de nudos y su superficie en relación a la superficie total del elemento.

Uno de los parámetros visuales de la metodología es el **índice CKDR**. Este índice contabiliza la nudosidad del elemento de madera, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$CKDR = \sum d_i / 2(b+h)$$

Siendo d_i la suma del diámetro de los nudos, b la dimensión de la cara de la viga y h la dimensión del canto de la viga.



Imagen 1. Inspección según criterios visuales: ubicación y medida de los nudos relevantes por tamaño en las vigas. A partir de estas medidas se calcula el índice CKDR

Los **ensayos no destructivos** propuestos originalmente para la metodología corresponden a resistografía, emisión-recepción de ultrasonidos y vibraciones inducidas/ondas de presión.



Imagen 2. Evaluación no destructiva de la resistencia mecánica de las vigas mediante tecnología de emisión-recepción de ultrasonidos.



Imagen 3. Evaluación no destructiva de la resistencia mecánica de las vigas mediante tecnología de resistografía.



Imagen 4. Evaluación no destructiva de la resistencia mecánica de las vigas mediante tecnología de vibraciones inducidas/ondas de presión.

Una vez desarrollada la metodología de evaluación no destructiva, se probó comparando sus resultados con los resultados obtenidos del ensayo destructivo a flexión según la norma **UNE-EN 408**. En concreto, se ensayaron 15 vigas de pino silvestre, 15 vigas de pino laricio, 15 vigas de pino resinero y 16 vigas de pino carrasco. Todas las vigas tenían unas dimensiones nominales de 108 x 80 x 4.000 mm.



Imagen 5. Rotura de una viga de pino silvestre en el ensayo de flexión según la norma UNE EN 408.

Para el módulo de elasticidad (MOE), se realizaron regresiones lineales entre el resultado del ensayo destructivo y los resultados con las técnicas no destructivas y los parámetros y variables de la metodología. Estas regresiones se realizaron para cada especie y para las cuatro especies en conjunto. El nivel de significación estadístico fue 0,05. Los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Especie	Variables/parámetros estadísticamente significativos de la metodología	Coefficiente de determinación (R^2) de la regresión lineal, en porcentaje
Pino silvestre	Velocidad de ultrasonidos	52
Pino resinero	MOE obtenido mediante emisión-recepción de ultrasonidos	83
Pino laricio	MOE obtenido mediante vibraciones inducidas	86
Pino carrasco	Número total de nudos y MOE obtenido mediante vibraciones inducidas	89
Todos los pinos	Resultado normalizado de resistografía y MOE obtenido mediante vibraciones inducidas	81

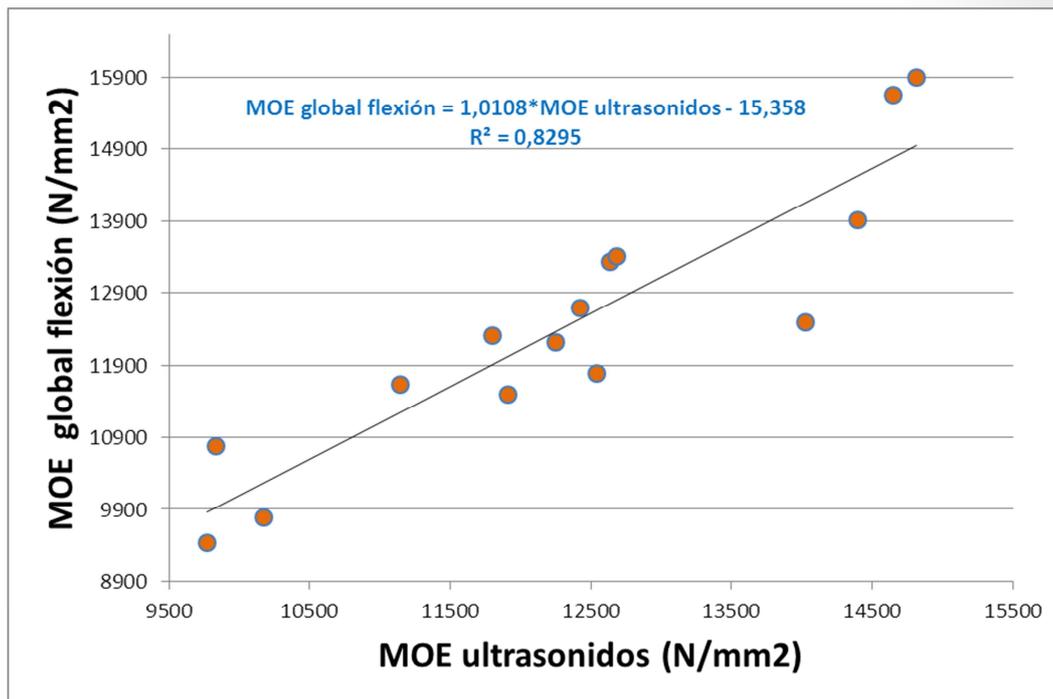


Imagen 6. Regresión lineal para la especie pino resinero entre MOE global de flexión (ensayo según norma UNE EN 408) y el MOE obtenido mediante emisión-recepción de ultrasonidos. El coeficiente de determinación es muy elevado.

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que, en general, incluyendo las técnicas no destructivas que proporcionan directamente valores de MOE dinámicos se obtienen mejores ajustes de R^2 .

Para la resistencia a flexión o módulo de rotura (MOR) se realizaron regresiones lineales entre el resultado del ensayo destructivo y los resultados con las técnicas no destructivas y los parámetros y variables de la metodología. Estas regresiones se realizaron para cada especie y para las cuatro especies en conjunto. El nivel de significación estadístico fue 0,05. Los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Espece	Variabes/parámetros estadísticamente significativos de la metodología	Coficiente de determinación (R^2) de la regresión lineal, en porcentaje
Pino silvestre	CKDR de la viga completa	57
Pino resinero	CKDR de la zona central de la viga y porcentaje de albura	72
Pino laricio	CKDR de la zona central de la viga	51
Pino carrasco	Velocidad de ultrasonidos y MOR obtenido mediante vibraciones inducidas	77
Todos los pinos	CKDR de la viga completa, MOR obtenido mediante vibraciones inducidas, MOR obtenido mediante ultrasonidos y número total de nudos.	71

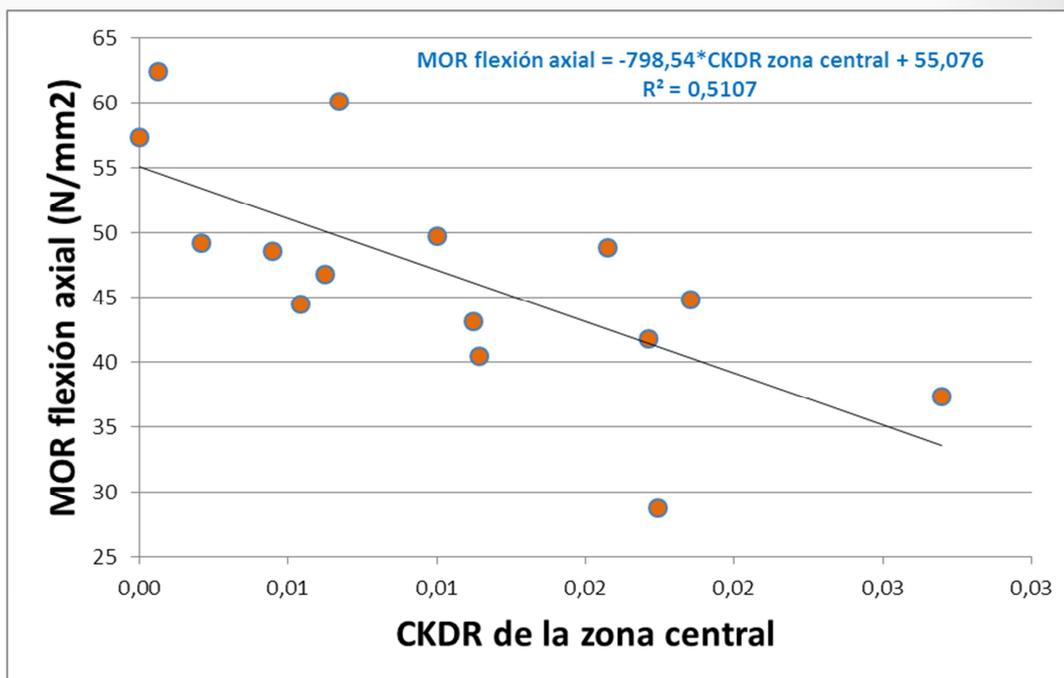


Imagen 7. Regresión lineal para la especie pino laricio entre MOR flexión axial (ensayo según norma UNE EN 408) y el MOR obtenido mediante emisión-recepción de ultrasonidos. El coeficiente de determinación es aceptable.

Los resultados obtenidos permiten concluir que en general con la incorporación de valores de MOR de métodos no destructivos se obtienen mejores ajustes de R², pero para la especie pino resinero no se observa incremento de R² respecto al conseguido sin incluir valores de MOR de métodos no destructivos. Sin embargo, para la especie de pino laricio existe una disminución del coeficiente de determinación cuando se incluyen valores de MOR de métodos no destructivos.

Los resultados obtenidos validan la metodología obtenida y confirman plenamente su efectividad.

Actualmente, en el proyecto se está acabando de mejorar la metodología de evaluación no destructiva y se está trabajando en el aprovisionamiento de madera, acondicionamiento y preparación de probetas de ensayo de madera antigua, con el fin posterior de adaptar la metodología mejorada de END a la madera antigua, que presenta propiedades y características ausentes en la madera actual.

En el proyecto están colaborando empresas y entidades valencianas, que aportan conocimiento, muestras y materiales al proyecto, y que reciben información técnica del proyecto en el marco de la transferencia tecnológica y promoción de los resultados a empresas y profesionales de los sectores de interés. Se celebran reuniones periódicas con ellas.

El proyecto se ha difundido y se ha realizado transferencia tecnológica de sus resultados en la feria internacional FIMMA-MADERALIA 2018, en Feria Hábitat Valencia 2018, en el Congreso Hábitat-Estrategia Empresarial 2018, así como en el encuentro FOCUS PYME y Emprendimiento Comunitat Valenciana 2018.

La última actividad de difusión y transferencia ha sido en el **II Encuentro entre profesionales de interiorismo para instalaciones de carpintería en madera**, celebrado el 15 de mayo y organizado por ASEMAD (Asociación de Empresarios de Carpintería y Afines de la Comunidad Valenciana), en colaboración con FEVAMA (Federación Empresarial de la Madera y el Mueble de la Comunidad Valenciana), CÁMARA VALENCIA y AIDIMME. El proyecto se difundió y se transfirieron sus resultados mediante circulares entregadas a los asistentes, contestando a sus preguntas y mediante la ponencia "Innovación en el campo de la madera: algunas experiencias actuales de interés".



Imagen 8. Difusión y transferencia del proyecto en la ponencia "Innovación en el campo de la madera: algunas experiencias actuales de interés" del II Encuentro entre profesionales de interiorismo para instalaciones de carpintería en madera.



Imagen 9. Difusión y transferencia del proyecto en la ponencia "Innovación en el campo de la madera: algunas experiencias actuales de interés" del II Encuentro entre profesionales de interiorismo para instalaciones de carpintería en madera.

Los principales resultados de MEND-ME obtenidos hasta el momento están disponibles de forma abierta, pública y gratuita en la página electrónica de AIDIMME.

Para más información sobre el proyecto [contacte](#) con AIDIMME.



GENERALITAT
VALENCIANA

TOTS
A UNA
veu

IVACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL

 **UNIÓ EUROPEA**
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

"Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER,
dentro del Programa Operativo FEDER
de la Comunitat Valenciana 2014 - 2020"