

## Proyecto MEND-ME:

Innovación para clasificar madera estructural nueva y antigua mediante técnicas no destructivas y para su rehabilitación en obra de forma rápida y eficaz

Coordinador del proyecto y contacto: Miguel Ángel Abián  
[mabian@aidimme.es](mailto:mabian@aidimme.es)

## Newsletter # 3-2019/20

Difusión de proyectos

**En este proyecto de I+D se ha investigado 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 en obra sistemas constructivos de madera de forma rápida y eficaz.**

Ha concluido la tercera 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 dos primeras anualidades del proyecto (enero 2017-mayo 2018, y junio 2019-junio 2019) fueron financiadas 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 ha radicado, 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 ha consistido 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.

A continuación se exponen, resumidos, los principales resultados de la tercera anualidad del proyecto.

### **Metodología mejorada de evaluación no destructiva, aplicable a madera antigua**

**Se mejoró y amplió la metodología de evaluación no destructiva** desarrollada en la anterior anualidad, a fin de que sea aplicable a madera antigua y de que sus resultados sean más precisos y se acerquen lo máximo posible a los resultados obtenidos mediante ensayos destructivos.

La metodología mejorada incluye:

- Ensayos mediante técnicas de evaluación visual y degradaciones para madera antigua.
- Ensayos mediante tecnologías no destructivas (resistografía, emisión-recepción de ultrasonidos, etc.).

Las principales variables de clasificación visual y degradaciones que se tuvieron en cuenta inicialmente para la metodología mejorada se muestran en la siguiente tabla.

ENSAYO	VARIABLES							
Medición de nudos	KAR viga	KAR zona central	KDRS viga	KDR parte central	Suma nudos >20 mm viga	Suma diámetros >20 mm viga	Suma nudos tercios central >20mm viga	Suma de diámetros tercio central >20mm viga
	Suma nudos total	Suma diámetros total	Suma nudos Total tercio central	Suma diámetros total tercio central	Suma nudos canto c	Suma diámetros canto c	Suma nudos canto c tercio central	Suma diámetros canto c tercio central
Clasificación visual	Fendas	Alabeos	Médula	Entrecasco	Desviación de la fibra	Acebolladuras	Bolsas de resina	
Medición degradaciones	Nivel Tercio 1	%Superficie degradada Tercio 1	Nivel Tercio 2	%Superficie degradada Tercio 2	Nivel Tercio 3	%Superficie degradada Tercio 3		
Variables físicas	% Duramen	% Albura						

*Imagen 1. Tabla de variables procedentes de la clasificación visual y de la medición de degradaciones.*

Las principales variables de evaluación mediante técnicas no destructivas que se tuvieron en cuenta inicialmente para la metodología mejorada se muestran en la siguiente tabla.

ENSAYO	VARIABLES					
Resistografía	<u>Feed V</u>	<u>Feed H</u>	<u>Feed promedio</u>	<u>Drill V</u>	Drill H	Drill promedio
Vibraciones inducidas	MOE vibraciones inducidas	MOR vibraciones inducidas				
Ultrasonidos	Velocidad ultrasonidos	Media MOE ultrasonidos	Media MOR ultrasonidos	Velocidad ultrasonidos directo	MOE ultrasonidos directo	MOR ultrasonidos directo
Variables físicas	Densidad					

*Imagen 2. Tabla de variables procedentes de ensayos no destructivos.*

## Validación de la metodología mejorada mediante ensayos en madera antigua

A la vez que se mejoraba la metodología de evaluación no destructiva se realizó el aprovisionamiento de madera antigua para su posterior acondicionamiento, preparación de probetas y realización de ensayos no destructivos y destructivos. El objetivo de realizar estos ensayos era **validar la metodología en madera antigua** y obtener valores medios de las propiedades mecánicas para cada una de los lotes de madera ensayados y para cada especie de madera, que se registraron después en una **base de datos**.

Para la realización de los ensayos, se necesitaron vigas de madera antigua procedentes de derribos, de las cuales se seleccionaron y extrajeron aquellas vigas que conservaban su integridad estructural y en las cuales podía realizarse tanto el análisis de sus propiedades físico-mecánicas mediante técnicas no destructivas como los ensayos de rotura a flexión. La selección de especies se ha realizado atendiendo a las especies que más se utilizaban en la construcción en la Comunidad Valenciana, tal y como se analizó en el entregable E1.1 (*Estado del arte sobre las especies de madera nueva y antigua y sobre su uso y conservación en rehabilitación y construcción*), en la primera anualidad.

Las vigas de madera provienen principalmente de edificios construidos en la ciudad de Valencia entre los años 1880 y 1920. En esta época, una gran parte de las vigas empleadas provenían de importación y llegaban por el puerto de Valencia desde puertos del sur de Norteamérica (Mobile, Gulfport, Tampa, etc.). Este aumento de la importación fue consecuencia de la transferencia de tierras forestales de propiedad institucional a propietarios privados, llevadas a cabo en el siglo XIX. Este proceso tuvo como principal consecuencia la privatización de terrenos forestales y su consecuente conversión a terrenos agrícolas.

Las especies de madera empleadas para los ensayos fueron del género *Pinus sp.* y *Picea sp.* La elección de estas especies vino determinada por ser las especies que mayoritariamente se utilizaban en la época para la realización de las edificaciones. Concretamente, para la realización de los ensayos se seleccionaron 5 lotes de 20 vigas de tres especies distintas, lo que supone un tamaño muestral de 100 vigas. Las especies seleccionadas corresponden a madera conocida comúnmente como "**mobila**" (*Pinus palustris*, *Pinus taeda*, *Pinus echinata* y *Pinus elliotii*), **pino silvestre** (*Pinus sylvestris*) y **abeto** (Género *Picea*).

Dentro del mismo lote, se seleccionaron vigas de similar escuadría y longitud: para los 2 lotes de mobila (MOA y MOB), vigas de 180x60 mm aprox. y una longitud de 4 metros aprox.; para los dos lotes de pino silvestre (PSA y PSB), vigas de 160x60 mm aprox. y una longitud de 3,63 metros aprox.; y para el lote de abeto (ABE), vigas de 200x75 mm y una longitud de 4 metros aprox.

Las letras **A** y **B** para la mobila y el pino silvestre hacen referencia a dos clases de calidad. La A corresponde a la calidad más alta (menor degradación) y la B a una calidad inferior (mayor degradación).



*Imagen 3. Algunos lotes de madera ensayada en el proyecto.*



*Imagen 4. Sección de madera de mobla de clase de calidad B (MOB).*



**Imagen 5. Medición de nudos en cara. La medición de los nudos grandes forma parte de la metodología mejorada.**

La medición de degradaciones se lleva a cabo de forma visual. Se analiza la totalidad de la viga sectorizada por tercio cara y canto, estableciendo un nivel de degradación del 0 al 3 y determinando el agente degradador que causa la degradación.



**Imagen 6. Detalle de una muestra con nivel de degradación 3 (el más severo).**

Los ensayos no destructivos de la metodología mejorada son tres: **resistografía, vibraciones inducidas y emisión-recepción de ondas ultrasónicas.**

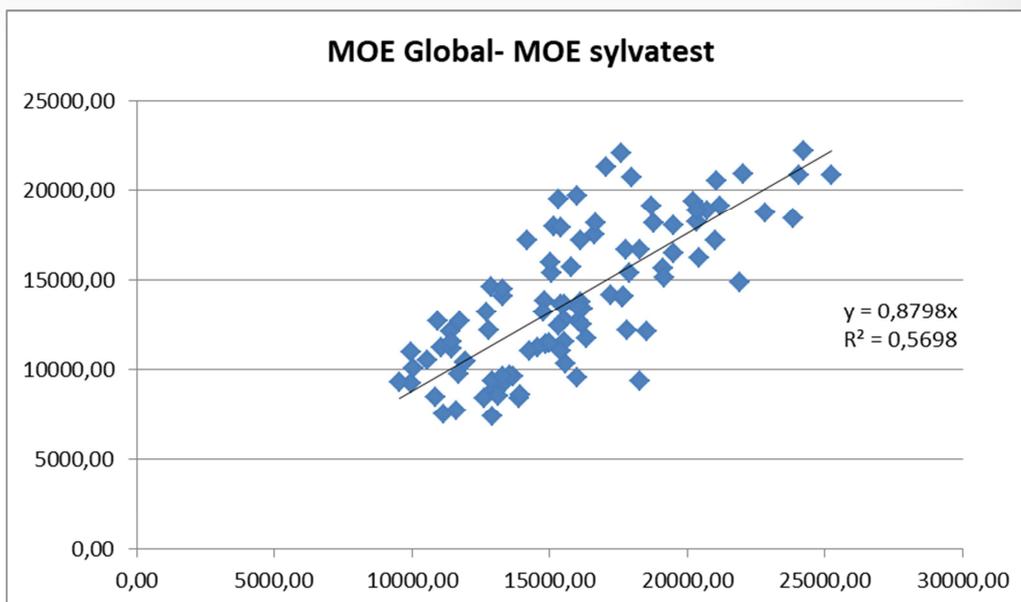
Los ensayos de determinación de módulo de elasticidad global a flexión y determinación de la resistencia a flexión se realizaron según la norma UNE-EN:2011+A1.



*Imagen 7. Ensayo de resistencia a flexión (destructivo).*

Los resultados obtenidos de la metodología mejorada y los ensayos destructivos se compararon y se analizaron estadísticamente mediante regresiones múltiples lineales.

**La comparación validó la metodología desarrollada de evaluación no destructiva para madera antigua y confirmaron plenamente su efectividad. De todos los análisis estadísticos que se realizaron por su interés y aplicabilidad, el  $R^2$  más bajo en la regresión lineal fue del 32% y el más alto del 79%, y en casi todos los casos se superó el 50%.**



**Imagen 8. Gráfica de regresión lineal, para el conjunto de lotes de madera, entre el módulo de elasticidad global obtenido mediante ensayo destructivo y el módulo de elasticidad obtenido mediante la técnica de emisión-recepción de ultrasonidos**

Además, en todos los análisis hubo variables o parámetros que estadísticamente carecían de significación. Por tanto, **puede simplificarse mucho la metodología** mejorada eliminando algunos ensayos.

### Implementación de la metodología de END para madera antigua

A la hora de aplicar una metodología de clasificación sobre la madera antigua, además de la significativa estadística tiene gran relevancia el hecho de que la madera esté puesta en servicio o acopiada para su reutilización.

En el caso de la madera acopiada, ésta presenta la ventaja de la facilidad de realizar los ensayos, además de permitir realizar un mayor número de ensayos sobre ella. Por el contrario, la madera puesta en servicio presenta mayores dificultades para ejecutar ciertos ensayos ya sea por disposición en la edificación o accesibilidad.

**A consecuencia de estas particularidades, se establecieron una serie de ecuaciones para implementar de forma práctica y sencilla la metodología, atendiendo a las condiciones en las que vaya a evaluarse la madera.**

En el caso de **la implementación de la metodología para clasificar madera antigua acopiada para reutilización**, los mejores resultados para el MOE y para el MOR ( $R^2=74\%$  y  $R^2=51\%$ , respectivamente) se obtuvieron con solamente tres ensayos: medida de la degradación, vibraciones inducidas y medida de la densidad.

En el caso de **la implementación de la metodología para clasificar madera *in situ* en rehabilitación**, los mejores resultados para el MOE y para el MOR ( $R^2=68\%$  y  $R^2=45\%$ , respectivamente) se obtuvieron con solamente tres ensayos: resistografía, ultrasonidos y medida de la degradación.

## Base de datos de propiedades mecánicas de las especies de madera antigua

Los resultados de las propiedades mecánicas obtenidas de los ensayos destructivos de la madera antigua se codificaron en una base de datos en formato Excel y en formato web.

La versión en formato web de la base de datos se ha desarrollado con Microsoft Power BI, una herramienta muy poderosa para la representación gráfica de datos y estadísticas. Esta versión está disponible mediante un hipervínculo en la [página web del proyecto](#), de forma abierta, pública y gratuita. La interfaz de la base de datos es dinámica.

AIDIMME I+D ACTIVIDADES LABORATORIOS FORMACIÓN SECTORES COMUNICACIÓN ASOCIADOS CONTACTO

**AIDIMME**  
INSTITUTO TECNOLÓGICO

Respetamos los 200cms #ike200challenge

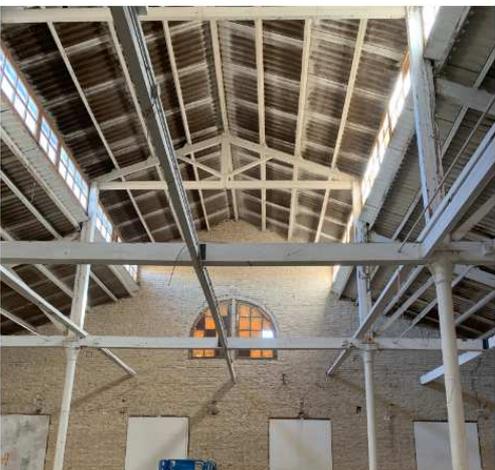
ES | EN | PRINT

AIDIMME / Difusión de proyectos / Detalles

### "MEND-ME 19-20"

MEND-ME - DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA DE MADERA ESTRUCTURAL Y APLICACIÓN INNOVADORA A REHABILITACIÓN





Número de proyecto: 21900015  
Expediente: IMDEEA/2019/3  
Duración: Del 2019-07-01 al 2020-06-30  
Coordinado en AIDIMME por: ABIÁN PÉREZ, MIGUEL ÁNGEL

**RESULTADOS OBTENIDOS**

Año 2020: Base de datos de propiedades mecánicas de madera antigua

**Más información**

---

Año 2020: Circular 2 del proyecto MEND-ME 2019-2020

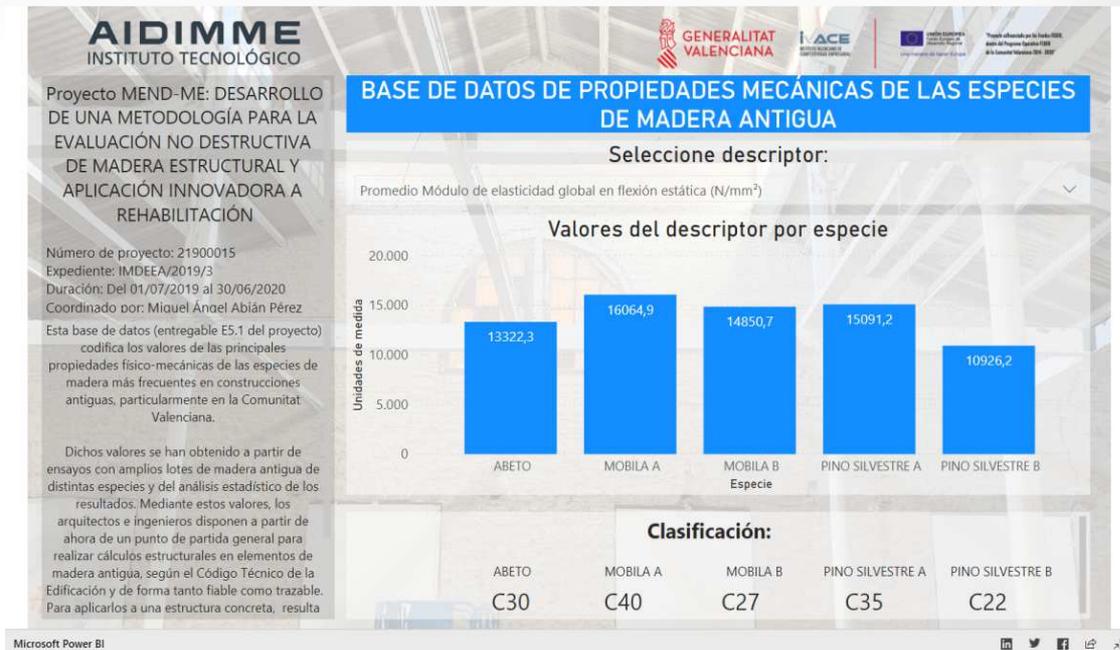
Entregables: 

---

Año 2019: Circular 1 del proyecto MEND-ME 2019-2020

Entregables: 

*Imagen 9. Vista parcial de la página web del proyecto. El enlace a la base de datos está a la derecha (Año 2020: Base de datos de propiedades mecánicas de madera antigua), en "Más información".*



**Imagen 10. Ejemplo de valores de la base de datos para la variable/descriptor "Módulo de elasticidad global en flexión estática".**

En la interfaz web de la base de datos, son visibles en todo momento las **clases resistentes** de las especies de madera, según el **Código Técnico de la Edificación**.

Utilizando los valores de la base de datos, los arquitectos e ingenieros disponen a partir de ahora de un punto de partida general para realizar cálculos estructurales en elementos de madera antigua, según el CTE y de forma tanto fiable como trazable. Para la aplicación de estos valores a una estructura concreta, resulta imprescindible analizar antes el estado de la madera y realizar algunos ensayos de comprobación de la clase resistente.

### Soluciones de refuerzo/consolidación

La solución de refuerzo/consolidación que se juzgó de mayor interés fue la de **consolidación con resina en masa y varillas de fibra de vidrio**. Esta solución se probó con vigas con distintas degradaciones y roturas, y resultó efectiva en el caso de vigas con degradación en la parte superior del empotramiento, haciendo el saneamiento mediante corte diagonal. La degradación de vigas en la parte superior del empotramiento es muy habitual, por lo que la solución desarrollada es de amplia aplicación.



**Imagen 11.** Vigas en proceso de ser consolidadas con resina y varillas de fibra de vidrio. Estas vigas presentaban degradación en la parte superior y se sanearon mediante corte en diagonal.

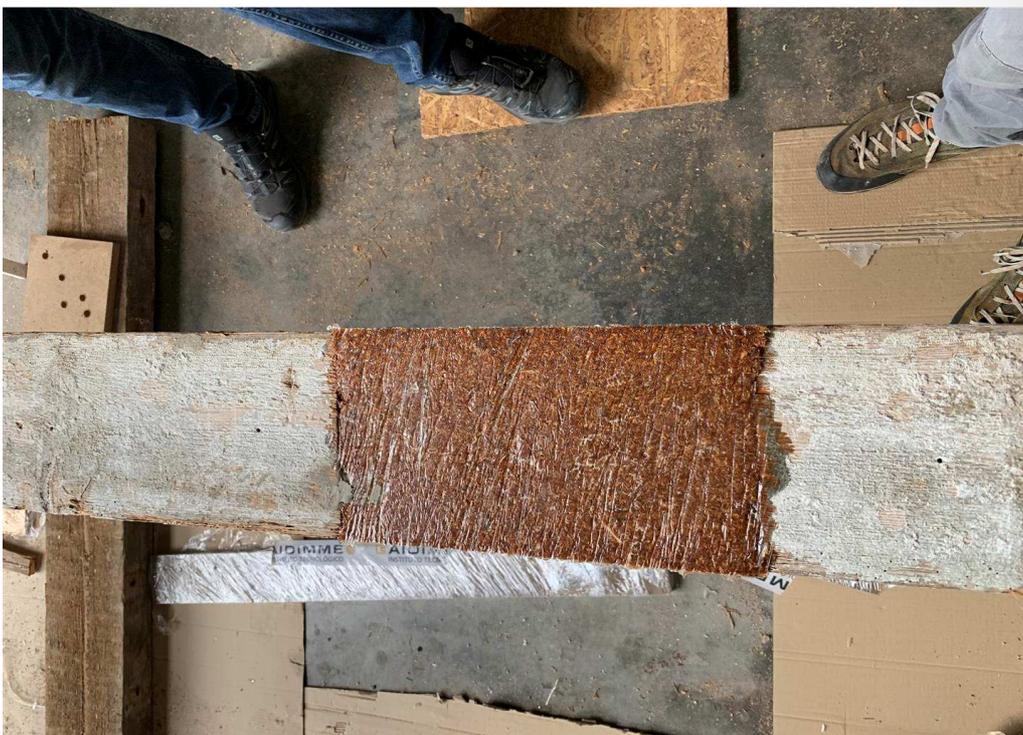


**Imagen 12.** Detalle de una de las vigas anteriores después de ser consolidada.



*Imagen 13. Vigas consolidadas en el centro, por presencia de degradación o de rotura.*

También se desarrolló y se ensayó una solución de consolidación en la que el árido que se mezcla con la resina fue sustituido por serrín de madera, que resultó prometedora en cuanto a resistencia mecánica, si bien requerirá más investigación en el futuro. **La solución desarrollada es mucho más ligera y sostenible que una mezcla de resina y árido, y fomenta la reutilización/reciclaje de la madera.**



*Imagen 14. Viga reforzada/consolidada con una mezcla de resina y de serrín de madera, en lugar de árido.*

En el proyecto han colaborado empresas y entidades valencianas, que han aportado conocimiento, muestras y materiales al proyecto, y que han recibido 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 han celebrado reuniones periódicas con ellas.

Los principales resultados de MEND-ME 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

 **UNIÓN 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"