

2019/20

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

Nº Expte: IMDEEA/2019/3

Programa: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS

Paquete de trabajo 8 – Transferencia y promoción de resultados a empresas de la Comunitat Valenciana

Entregable: E.8.9 - Ficha técnica resumen de los resultados alcanzados durante la anualidad 3

Breve descripción.

Resumen técnico de los principales resultados alcanzados en la anualidad 3

Realizado por:
AIDIMME



MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	3
1 OBJETIVO DEL PROYECTO	4
2 RESULTADOS OBTENIDOS	6
3 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO.....	7
4 BENEFICIOS DEL PROYECTO PARA LA SOCIEDAD Y EL MEDIO AMBIENTE.....	8
5 RESULTADOS TÉCNICOS	9
6 DIFUSIÓN DEL ENTREGABLE.....	38
Resumen. Conclusiones.....	39

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

RESUMEN EJECUTIVO

Este documento resume los principales resultados técnicos obtenidos en la tercera anualidad del proyecto (julio 2019-junio 2020), que se han utilizado en la transferencia y promoción de resultados a empresas y entidades valencianas.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

1 OBJETIVO DEL PROYECTO

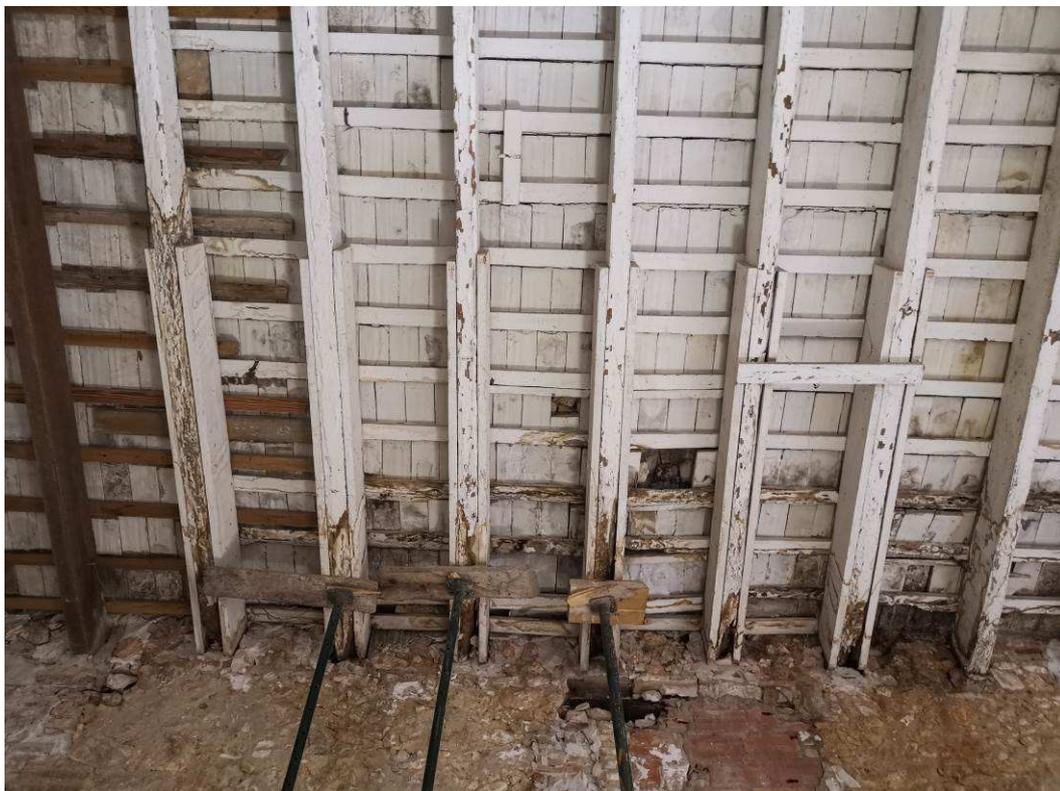
La tercera y última anualidad de este proyecto ha sido financiada por el **IVACE** (Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial). También ha sido cofinanciada al 50% por el Programa Operativo **FEDER** de la Comunitat Valenciana 2014-2020.

Las dos primeras anualidades del proyecto fueron financiadas también por el IVACE y fondos FEDER.

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 Comunitat 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.

Ambos objetivos se han alcanzado.



Ejemplo de degradaciones por insectos y hongos xilófagos en empotes de pares de cubierta, que precisan refuerzo.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

Los objetivos específicos del proyecto han sido los siguientes:

- **Investigar tecnologías no destructivas (TND) que evalúen la calidad estructural y la presencia de defectos en la madera nueva y antigua**, de forma que sean fiables.
- **Desarrollar una metodología específica de evaluación no destructiva específica para madera de uso estructural tanto antigua como nueva**, aplicable a cualquier tipo de elemento, sea cual sea su sección y forma, y que sea aplicable *in situ*. Esta metodología incluirá el método de análisis, los criterios de clasificación y requisitos según uso.
- **Probar la metodología desarrollada tanto en madera antigua como en nueva**. Se evaluará en primer lugar la madera nueva que está clasificada por el CTE para posteriormente aplicar la metodología a madera antigua incluyendo sus peculiaridades.
- A partir de los resultados obtenidos, **se mejorará y optimizará la metodología**.
- Aplicar la metodología mejorada a **madera antigua y sistemas constructivos existentes en las rehabilitaciones**. Con la metodología desarrollada, toda esta madera podrá clasificarse y utilizarse según el CTE.
- **Crear una base de datos de propiedades mecánicas de las especies de madera usadas en el pasado**.
- **Innovar en las soluciones y productos de refuerzo y consolidación utilizados en la rehabilitación de sistemas constructivos con madera antigua**.
- **Difundir de forma efectiva el proyecto y sus resultados**.
- **Transferir y promover los resultados a empresas de la Comunidad Valenciana**, escogiendo los canales más adecuados para que la transferencia tenga el mayor impacto posible.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

2 RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos, que coinciden con los esperados, del proyecto en su tercera y última anualidad han sido los siguientes:

- Una **base de datos de propiedades mecánicas de las especies de interés en rehabilitación** (densidad, resistencia a flexión, módulo de elasticidad, resistencia a cortante, etc.).
- **Soluciones y productos innovadores de refuerzo y consolidación** para utilizar en rehabilitación.
- La **evaluación de los sistemas constructivos de madera antigua** una vez reforzados/consolidados.
- La **difusión** de forma efectiva del proyecto y sus resultados.
- La **transferencia y promoción de los resultados** a empresas de la Comunidad Valenciana.

Los resultados se dirigen al sector de la madera y la construcción/rehabilitación.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

3 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Hasta el momento no existe una caracterización y clasificación de la madera estructural antigua; por lo tanto, existe un desconocimiento generalizado sobre su uso y rehabilitación, así como dudas sobre su seguridad. Los proyectos experimentales de caracterización mecánica y clasificación de madera antigua que actualmente se realizan aún no han conseguido obtener la fiabilidad que se demanda para poderla equiparar a la madera nueva incluida en el CTE.

MEND-ME está planteado para resolver la **necesidad del sector de la construcción y de muchos arquitectos** de disponer de una caracterización mecánica y de una clasificación según el CTE de la madera existente en las edificaciones antiguas. También se ha detectado la **necesidad, común a muchos arquitectos, ingenieros y empresas de rehabilitación, de disponer de soluciones y productos de refuerzo y consolidación para madera que puedan usarse en obra de manera rápida y económica.**

Por otro lado, no se dispone actualmente de una metodología de evaluación no destructiva de la madera estructural adaptada a cualquier tipo de elemento; es decir, de cualquier tamaño, sección y geometría. El sector de la madera y productos derivados evalúa la calidad de la madera seleccionando algunas muestras y sometiéndolas a **ensayos destructivos**, que se realizan en laboratorios con máquinas universales de ensayo de grandes dimensiones, y por tanto no pueden llevarse a cabo *in situ* y resultan en la destrucción de la muestra de ensayo.

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.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

4 BENEFICIOS DEL PROYECTO PARA LA SOCIEDAD Y EL MEDIO AMBIENTE

El **retorno a la sociedad y el fomento de la cohesión del territorio** de la inversión en I+D de MEND-ME se centra en los siguientes aspectos:

- La transferencia del conocimiento adquirido en el proyecto a las empresas y a la sociedad en general, relativo a la madera antigua y patrimonial, supondrá el incremento de la concienciación y formación de los agentes implicados en la conservación y rehabilitación de los edificios, desde los arquitectos y empresas hasta los propietarios.
- La mejora del conocimiento de la madera antigua y de sus técnicas de conservación repercutirá de forma positiva en los proyectos de rehabilitación de edificios antiguos con estructura de madera, al simplificar las evaluaciones de las estructuras y por ende las molestias a los vecinos.
- La aplicación de los resultados del proyecto en edificios patrimoniales de núcleos urbanos de ciudades y pueblos, muy presentes en la Comunitat Valenciana, fomentará la conservación, promoción y la relación entre distintos ayuntamientos con problemas similares. De esta forma se abrirá la puerta a la colaboración entre entidades públicas, lo cual fomenta la cohesión del territorio.

Además, en el **aspecto medioambiental** el proyecto mejorará la sostenibilidad de las obras a realizar en rehabilitación de edificios.

Los aspectos medioambientales más importantes de MEND-ME se refieren a:

- Reducción de los residuos de las obras al disminuir las demoliciones de sistemas constructivos con madera y obra, que suponen en muchos casos un problema de reciclaje y contaminación.
- La conservación de las estructuras también disminuye el uso de nuevos materiales como el hormigón y el acero que tienen un impacto ambiental mayor que el uso de la madera en cuanto al uso del agua o energía se refiere. Además, utilizar madera de origen sostenible hace que el impacto ambiental por la emisión de CO2 sea menor.
- Las soluciones y productos innovadores basados en madera y derivados influirán también de manera positiva en el impacto ambiental y potenciarán el sector local de la madera, muy afectado desde hace años por la crisis de la construcción.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

5 RESULTADOS TÉCNICOS

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

5.1. 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 (véase [aquí](#)), 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						

Tabla de variables procedentes de la clasificación visual y de la medición de degradaciones.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

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	Feed V	Feed H	Feed promedio	Drill V	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					

Tabla de variables procedentes de ensayos no destructivos.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

5.2. 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.

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 elliottii*), **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).

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

DENOMINACIÓN	LOTE	ESPECIES
MOBILA (LOTE A)	MOA	<i>Pinus palustris, Pinus taeda, Pinus echinata y Pinus elliottii</i>
MOBILA (LOTE B)	MOB	<i>Pinus palustris, Pinus taeda, Pinus echinata y Pinus elliottii</i>
PINO (LOTE A)	PSA	<i>Pinus sylvestris</i>
PINO (LOTE B)	PSB	<i>Pinus sylvestris</i>
ABETO	ABE	Género <i>Picea</i>



Sección de madera de mobila de clase de calidad B (MOB).

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Medición de nudos en la cara de una viga. 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.



Detalle de una muestra con nivel de degradación 2 (medio).

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

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.



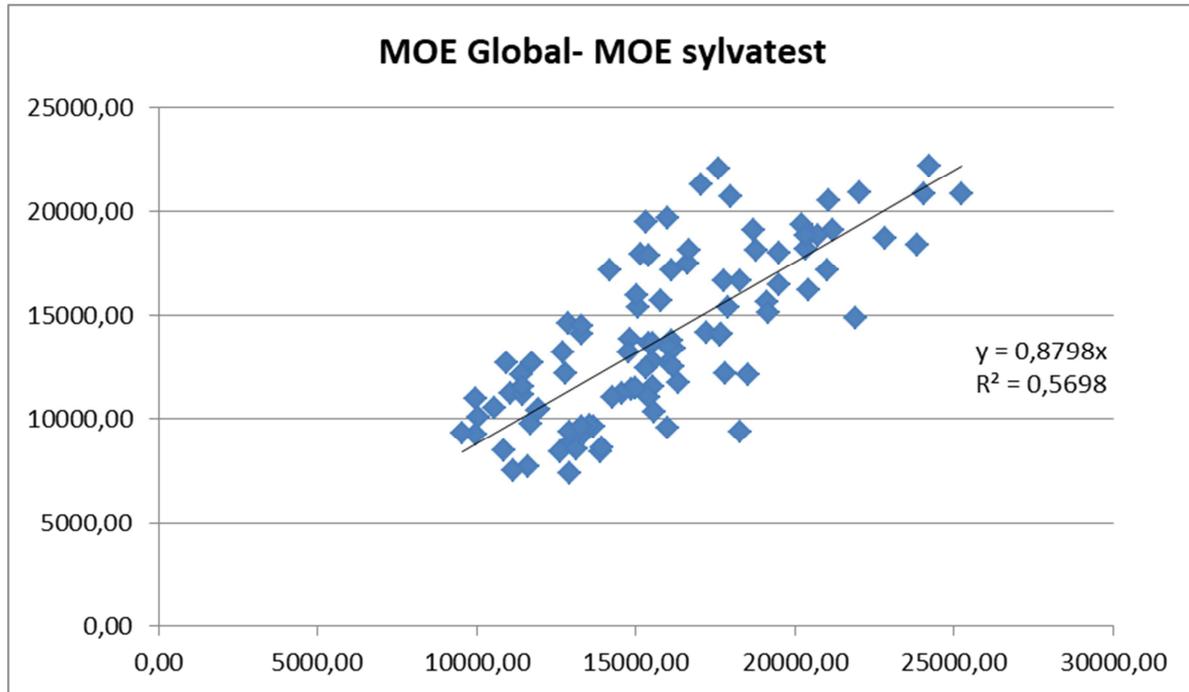
Ensayo destructivo para determinar la resistencia a flexión estática.

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%.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Gráfica de regresión lineal, para el conjunto de los lotes de madera ensayados, 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.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

5.3. 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.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

5.4. 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 de visualización interactiva de datos (*Business Intelligence* o *Business Analytics* es una de las tecnologías innovadoras que identifica la consultora tecnológica Gartner, que destaca Power BI como la plataforma más visionaria y líder entre las herramientas actuales).

Esta versión está disponible mediante un hiperenlace 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 #i4e20challenge

ES | EN | PRINT

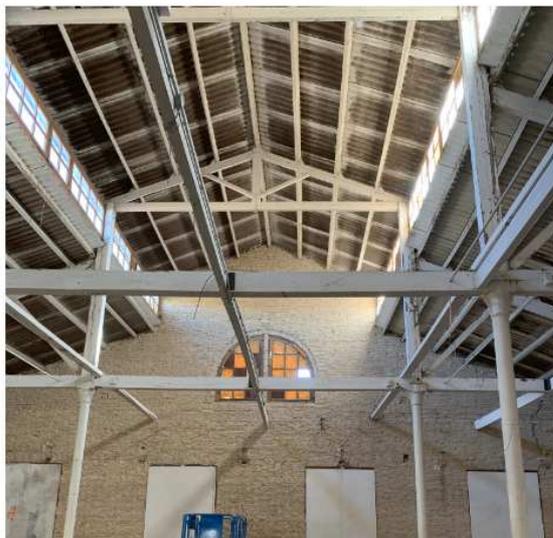
AIDIMME / Difusión de proyectos / Detalles

"MEND-ME 19-20"

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



Proyecto cofinanciado por los fondos FEDER, dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunidad Valenciana 2014 - 2020



Número de proyecto: 21900015
Expediente: IMDEEA/2019/3
Duración: Del 2019-07-01 al 2020-06-30
Coordinado en AIDIMME por: ABIÁN PÉREZ, MIGUEL ANGEL
Línea de I+D: BIOMATERIALES

RESULTADOS OBTENIDOS

Año 2020: Circular 3 del proyecto MEND-ME 2019-2020

Entregables:

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

Más información

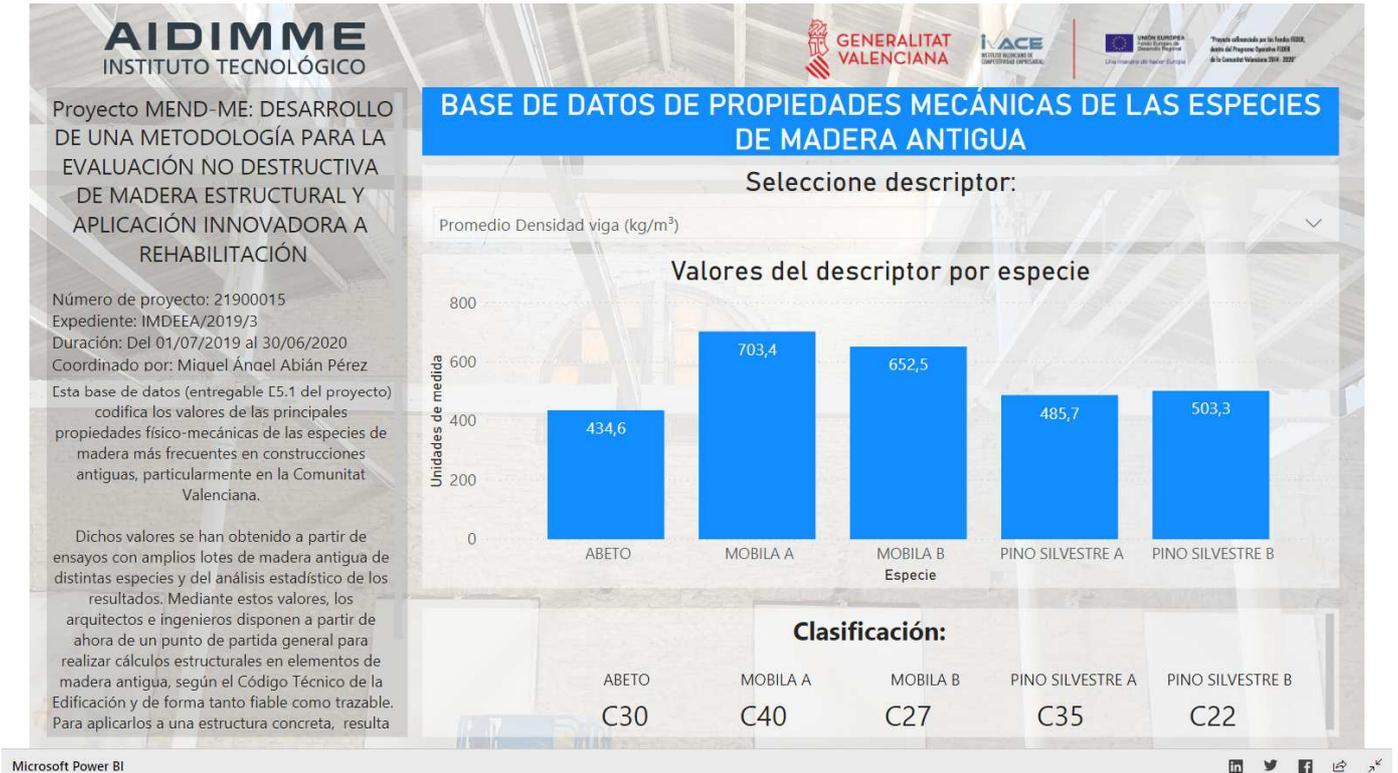
Año 2020: Circular 2 del proyecto MEND-ME 2019-2020

Entrenables:

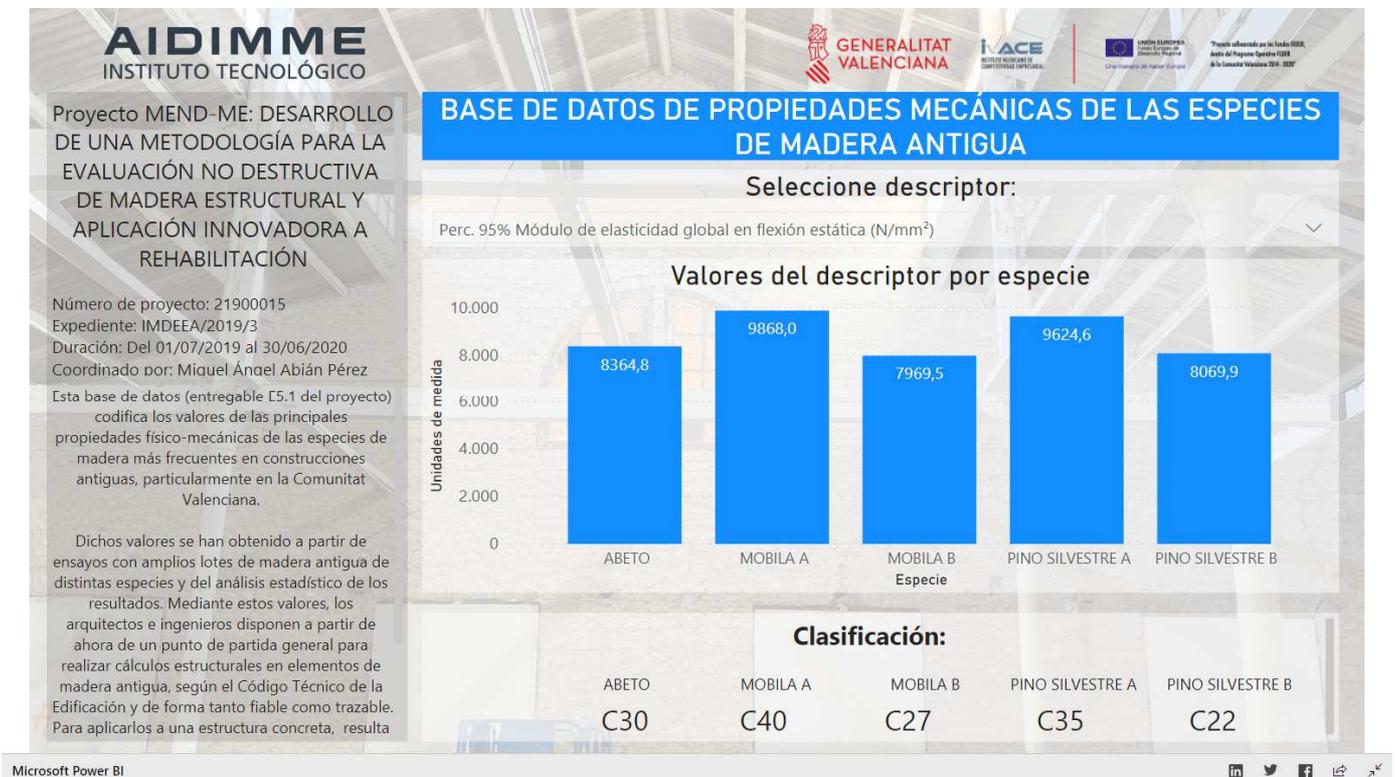
Vista parcial de la página web del proyecto. El enlace a la base de datos está a la derecha (Año 2020: Base de datos de propiedades mecánicas de madera antigua), en "Más información".

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



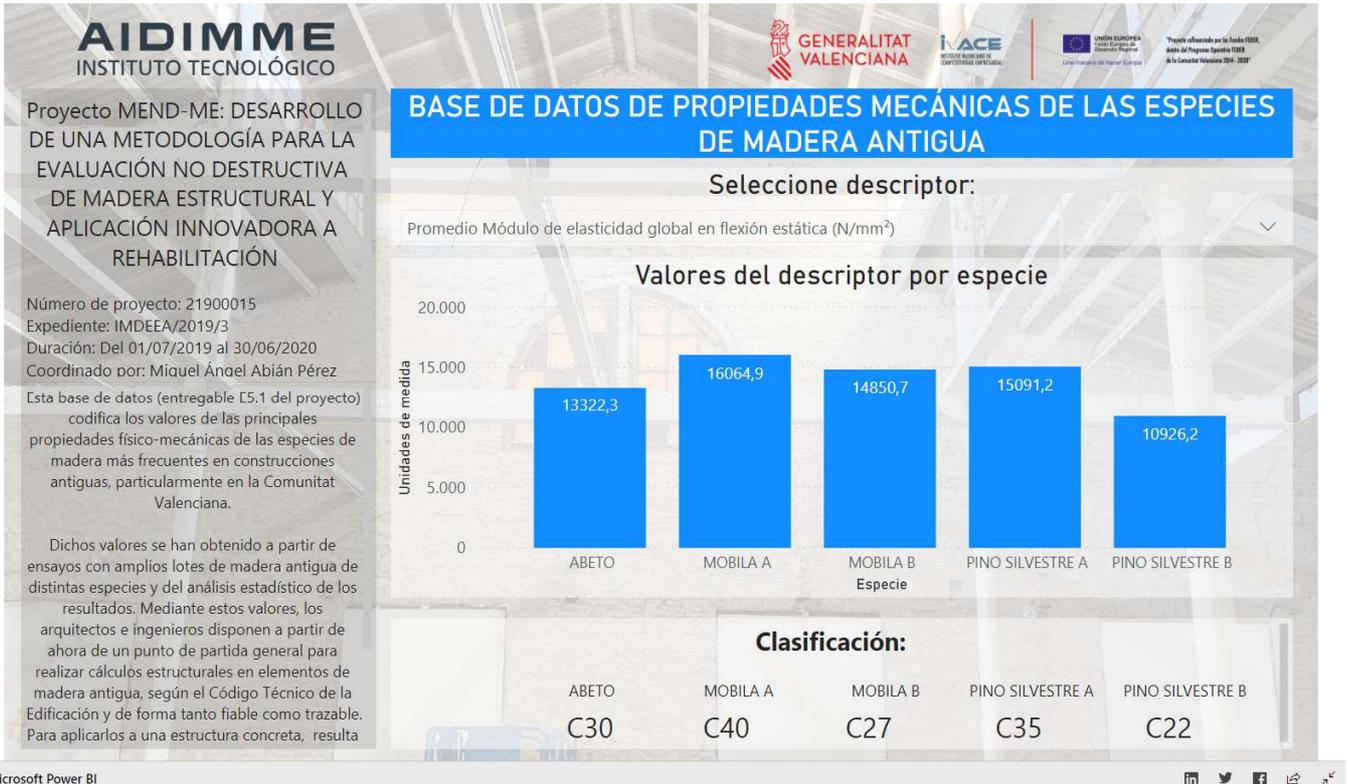
Valores de la base de datos para la variable/descriptor "Densidad".



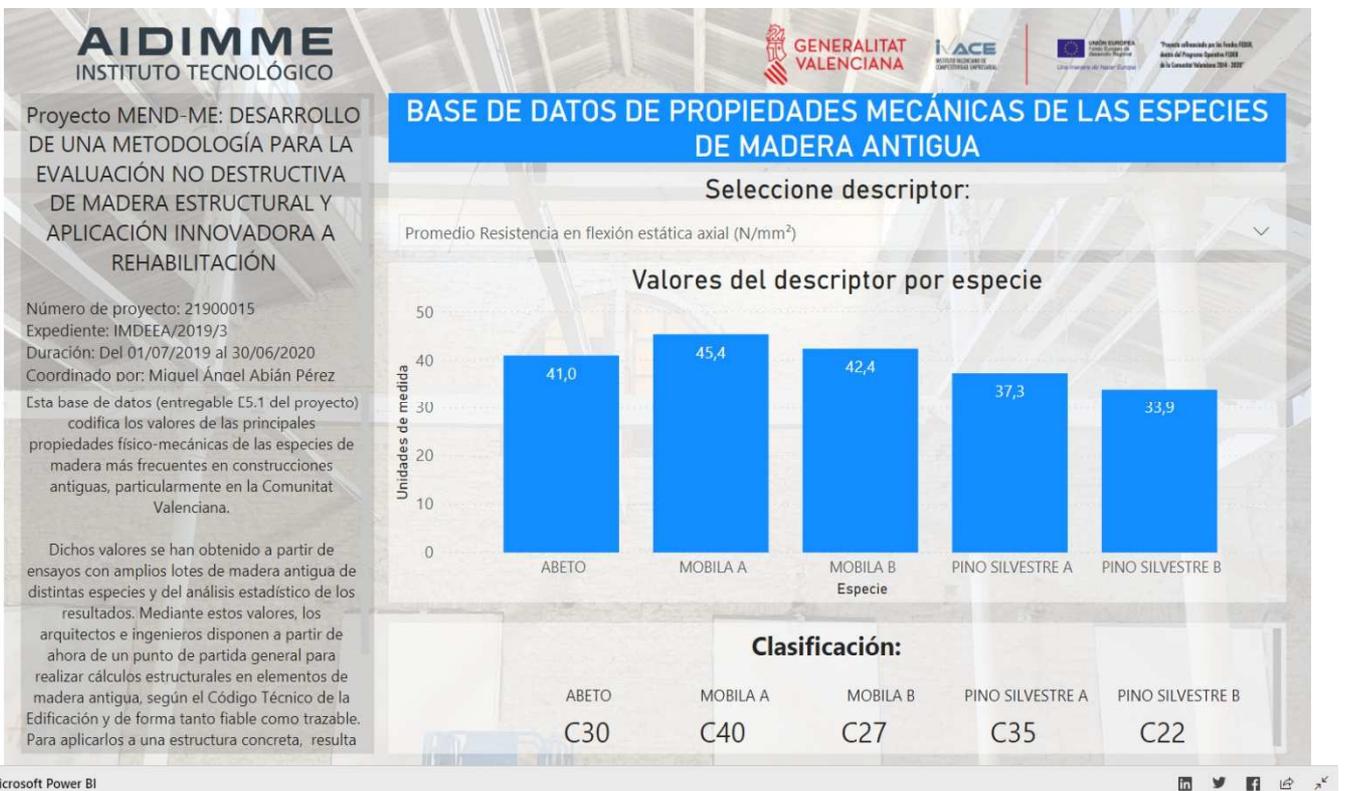
Valores de la base de datos para la variable/descriptor "Percentil 95% del módulo de elasticidad global en flexión estática".

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Valores de la base de datos para la variable/descriptor "Módulo de elasticidad global en flexión estática".



Valores de la base de datos para la variable/descriptor "Promedio de resistencia en flexión estática axial".

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

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.**

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

5.5. Sistemas y soluciones constructivas de madera antigua

Según la investigación realizada por AIDIMME, los sistemas mas utilizados en todo tipo de edificios, tanto privados como públicos, en su estructura horizontal con elementos de madera suelen ser los siguientes:

- Forjados y cubiertas de tablero plano con viguetas, vigas de madera y listón.
- Forjados de madera con revoltón de ladrillo macizo y viguetas con rebaje o listón clavado.
- Cubiertas cerchadas con correas, listones de madera, complementos de metal, morteros, etc.

En general estos sistemas son mixtos, ya que también tienen elementos como ladrillos macizos, morteros, pavimentos, etc.

Estos sistemas suelen encontrarse en las viviendas o edificios de carácter patrimonial en los centros históricos de las ciudades o municipios y pueden tener desde 50 hasta más de 300 años de antigüedad.

5.5.1. Forjados y cubiertas de madera con tablero plano

En la zona de Levante suelen encontrarse este tipo de sistemas en forjados de edificios bastante antiguos (siglos XVI a XVIII) y construidos por familias de clases altas de la época. Suelen ser muy altos y frecuentemente adornados con elementos de tipo artesonado.

En lo que respecta a las cubiertas, es el sistema mas generalizado en todo tipo de edificios, llegando a aparecer hasta mitad del siglo XX.

A continuación, a modo de ejemplo, se muestran algunas imágenes de esta solución constructiva.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Zaguán con forjado de tablero plano y decorado con artesanado.



Cubierta a dos aguas con tablero plano.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

5.5.2. Forjados de madera con revoltón

Este tipo de sistema constructivo es el más común en construcciones del siglo XIX y XX. Las viguetas son de madera y pueden encontrarse indistintamente con los apoyos para el ladrillo macizo para la bovedilla/revoltón realizado con un rebaje en el mismo elemento o mediante un listón clavado en lateral.

En general estos sistemas son mixtos, ya que tienen elementos como ladrillos macizos, morteros, pavimentos, etc.

A continuación, a modo de ejemplo, se muestran algunas imágenes de esta solución constructiva.



Forjado con revoltón (1).

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Forjado con revoltón (2).

5.5.3. Cubiertas cerchadas

A continuación, a modo de ejemplo, se muestran algunas imágenes de esta solución constructiva.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Cubierta a cuatro aguas con cerchas.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Cubierta a dos aguas con cerchas (1).

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Cubierta a dos aguas con cerchas (2).

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

5.6. Problemas por degradación o lesiones más comunes que requieren refuerzo y consolidación en los sistemas y soluciones constructivas de madera antigua

Según la investigación realizada por AIDIMME, en los sistemas y soluciones constructivas de madera antigua suelen aparecer tres tipos de problemas estructurales:

- Degradación en empotres de vigas y cerchas.
- Degradaciones bajo zonas húmedas o puntuales en cubiertas.
- Roturas o aparición de fendas estructurales.

5.6.1. Degradación en empotres de vigas y cerchas

Los empotres de vigas y cerchas son normalmente las zonas más propensas a ser degradadas por hongos e insectos xilófagos, pues a menudo sufren humedades altas y son la parte de los elementos de madera que primero son alcanzadas por las termitas.

A continuación, a modo de ejemplo, se muestran algunas imágenes de este problema de los sistemas constructivos de madera.

En algunos casos, el problema afecta incluso a elementos que ya estaban previamente reforzados.



Degradaciones por insectos y hongos xilófagos en pares de cubierta a un agua.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Degradaciones por insectos y hongos xilófagos en empotes de pares de cubierta.



Degradaciones por insectos y hongos xilófagos en viguetas ya reforzadas con metal.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

5.6.2. Degradaciones bajo zonas húmedas o puntuales en cubiertas

Este tipo de problema estructural en sistemas constructivos de madera se origina normalmente por filtraciones o escapes de agua procedentes de cañerías o bajantes, o bien porque hay zonas de cubierta mal aisladas que permiten que el agua de lluvia se acumule en partes puntuales del sistema constructivo durante periodos prolongados.

A continuación, a modo de ejemplo, se muestran algunas imágenes de este problema de los sistemas constructivos de madera.



Degradación por hongos xilófagos en vigueta de forjado.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Degradación por hongos xilófagos en vigueta de forjado.



Degradación por hongos e insectos xilófagos en vigueta de forjado.

MEND-ME

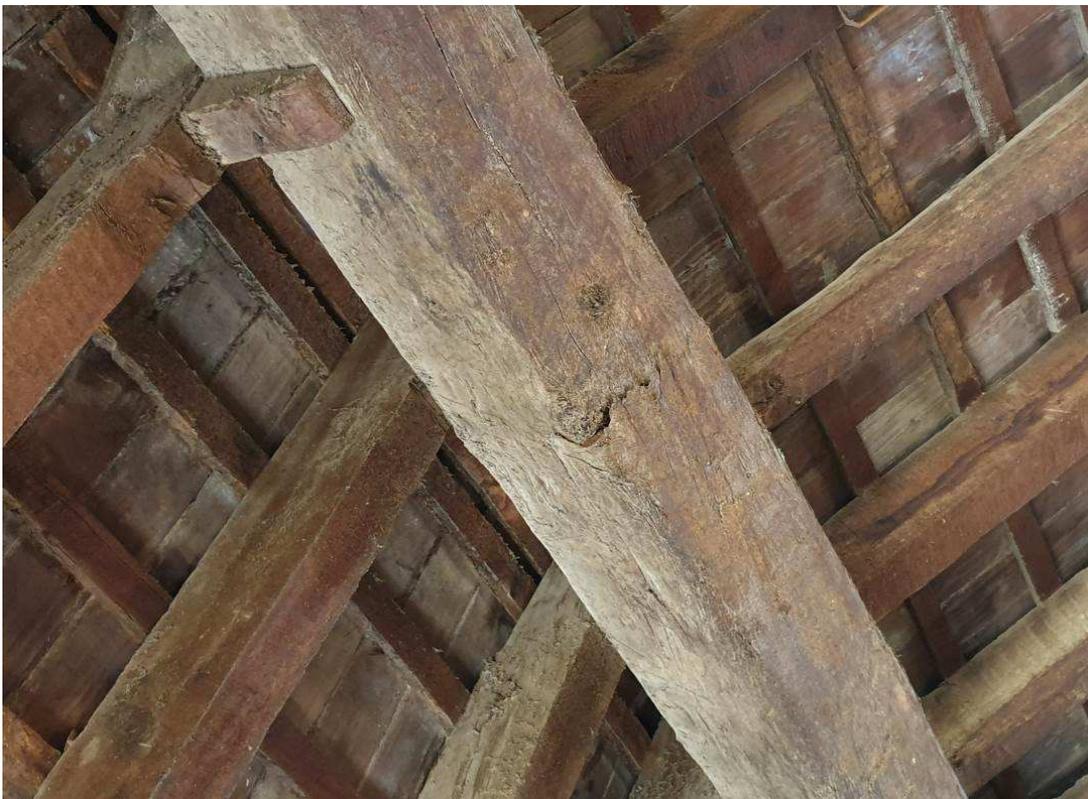
Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

5.6.3. Roturas o aparición de fendas estructurales

Este tipo de problema estructural en sistemas constructivos de madera se origina porque el elemento de madera afectado no tenía la suficiente calidad estructural para aguantar las cargas que soporta o bien porque ha sufrido sobrecargas que pueden deberse a múltiples causas: cambios de uso del edificio, ampliaciones, etc.

Las fendas estructurales no deben confundirse con las fendas de secado, que son normales en la madera y no entrañan ningún riesgo para el elemento o la estructura.

A continuación, a modo de ejemplo, se muestran algunas imágenes de este problema de los sistemas constructivos de madera.



Rotura por fendas de viga cumbre en cubierta.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Rotura por fendas de vigueta de forjado.



Rotura por fendas de viga en forjado.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

5.7. Soluciones de refuerzo/consolidación

La solución de refuerzo/consolidación que se juzgó de mayor interés práctico 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 después se evaluó su efectividad mediante ensayos de resistografía y de resistencia a flexión. 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.



Saneamiento en diagonal de la parte de empotramiento izquierdo de una viga.



Parte saneada de una viga, en la que ya se ha colocado una varilla de fibra de vidrio pretensada y que se encuentra preparada para encofrarse con una mezcla de resina y árido.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Vigas en proceso de ser consolidadas con resina y varillas de fibra de vidrio. Estas vigas presentaban degradación o rotura en la parte central, que fue saneada.



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.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación



Detalle de una de las vigas anteriores, saneadas mediante corte en diagonal, después de ser consolidada.



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

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

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.**



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

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

6 DIFUSIÓN DEL ENTREGABLE

El entregable está disponible **de forma abierta, pública y gratuita** en la página web de ADIMME (sección “Difusión de proyectos”) y se ha entregado en papel o en formato digital a empresas y entidades cooperadoras e interesadas.

El enlace directo a la página web del proyecto es https://www.aidimme.es/serviciosOnline/difusion_proyectos/detalles.asp?id=28676.

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

Resumen. Conclusiones

Este documento resume los principales resultados técnicos obtenidos en la tercera anualidad del proyecto (julio 2019-junio 2020).

MEND-ME

Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación

Puede obtener más información y documentación sobre el proyecto escribiendo al correo electrónico redaccion@aidimme.es, o bien contactando con [AIDIMME](http://aidimme.es).

Coordinador y director técnico del proyecto: Miguel Ángel Abián

Dpto. Tecnología y Biotecnología de la Madera



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

Organismos financiadores:

Fondos Estructurales, a través del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020

Generalitat Valenciana. IVACE. Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial



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