

Proyecto MEND-ME: Innovación para la clasificación y rehabilitación de la madera

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

Newsletter # 2-2017/18

Difusión de proyectos

AIDIMME continúa desarrollando este proyecto de I+D, en el cual se investiga la evaluación no destructiva de madera estructural a fin de clasificarla según el Código Técnico de la Edificación. Asimismo, investiga nuevas soluciones y productos de refuerzo y consolidación para rehabilitar sistemas constructivos.

AIDIMME (Instituto Tecnológico Metalmecánico, Mueble, Madera, Embalaje y Afines) continúa desarrollando el proyecto **MEND-ME** (Desarrollo de una metodología para la evaluación no destructiva de madera estructural y aplicación innovadora a rehabilitación). El proyecto está financiado por el **IVACE** (Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial) y también cofinanciado por el Programa Operativo **FEDER** de la Comunidad Valenciana 2014-2020. El proyecto consta de 3 anualidades, y se encuentra en la primera, que empezó en enero de 2017 y terminará en junio de 2018.

1. Introducción

El proyecto tiene como objetivo desarrollar **una metodología de análisis no destructivos que permita conocer el estado y calidad estructural de la madera actual o antigua**, para poder realizar rehabilitaciones de estructuras de madera en menor tiempo, de forma competitiva, sostenible, segura y fiable, así como aprovechar madera procedente de demoliciones bien para ejecutar esas rehabilitaciones o bien para usarla en nuevas estructuras.

MEND-ME nace de 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 nace de 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.

2. Objetivos del proyecto

En concreto, los objetivos específicos del proyecto son 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, mediante el uso de la metodología elaborada y modelos matemático-computacionales.
- Difundir de forma efectiva el proyecto y sus resultados.
- Transferir y promover los resultados a empresas de la Comunidad Valenciana.

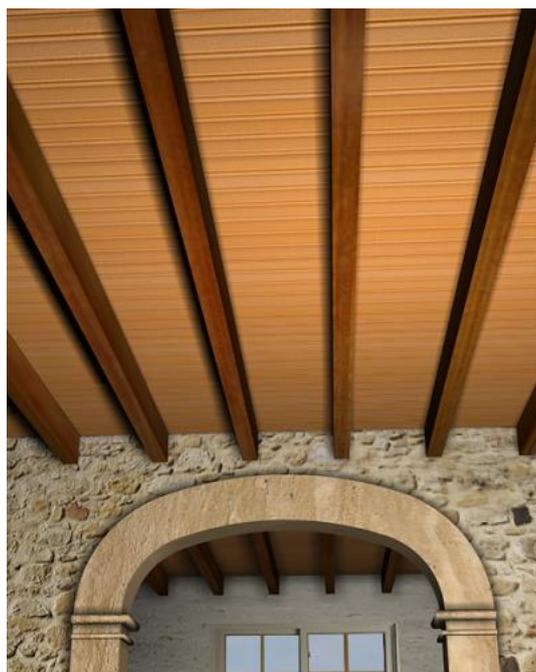


Imagen 1. Ejemplo de sistema constructivo tradicional con madera.

Fuente: CYPE Ingenieros

Para conseguir los objetivos propuestos se cuenta con la colaboración en tareas concretas del proyecto de empresas valencianas relacionadas con la madera y la construcción en madera.

3. Resultados previstos

Los resultados esperados del proyecto son los siguientes:

- Un estudio del uso y la conservación de las especies de madera usadas en la actualidad y en el pasado en el sector de la construcción y rehabilitación.
- Fichas de las TND utilizadas en evaluación de madera.
- Una metodología de evaluación no destructiva específica para madera de uso estructural, aplicable a madera antigua y nueva, sea cual sea su estado, longitud, sección y forma.
- Una guía de buenas prácticas en evaluación no destructiva de la madera antigua.
- 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.). Estas propiedades se obtendrán aplicando la metodología anterior a las especies de madera antigua y se vincularán con la clasificación del CTE (clases resistentes).
- Soluciones y productos innovadores de refuerzo y consolidación para utilizar en rehabilitación.
- La evaluación y modelado matemático-computacional de sistemas constructivos con madera antigua mediante la metodología desarrollada.
- 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 del proyecto serán relevantes para el **estado de conocimiento en madera y específicamente en madera para uso arquitectónico e ingenieril**, porque permitirán caracterizar y clasificar para construcción la madera existente en la edificaciones antiguas y porque permitirán mejorar las soluciones actuales aplicadas en rehabilitación de madera.

La base de datos de propiedades mecánicas de la madera antigua (densidad, resistencia a flexión, resistencia a cortante, resistencia a compresión, módulo de elasticidad, etc.), inexistente hasta la fecha, permitirá los ingenieros y arquitectos realizar con fiabilidad cálculos estructurales por elementos finitos en elementos de madera de las especies de interés.

Según Miguel Ángel Abián, jefe del Departamento de Tecnología y Biotecnología de la Madera, coordinador y director técnico del proyecto y responsable de la línea de I+D Madera en Construcción, “es crucial determinar y difundir las propiedades mecánicas de la madera antigua, con análisis estadísticos extensos y fiables, para que los ingenieros y arquitectos confíen en este material renovable y lo traten como un material normalizado más, como el acero o el hormigón”.

4. Resultados obtenidos hasta la fecha

Se ha realizado un análisis muy completo de las especies usadas en construcción y presentes en rehabilitación. Uno de los resultados del análisis ha sido que la madera en construcción empleada en España ha estado representada mayoritariamente por especies de madera pertenecientes al grupo de las coníferas. Los datos obtenidos mediante análisis de AIDIMME de intervenciones de estructuras de madera en procesos de rehabilitación e intervención determinan que las coníferas empleadas han sido pinos de las especies *Pinus halepensis*, *Pinus taeda*, *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Pinus pinaster* y *Pinus radiata*, y como frondosa, el chopo negro (*Populus nigra*).

Las especies de madera que se encuentran actualmente en desuso en actividades de rehabilitación son principalmente *P. halepensis*, *P. taeda* y *Populus nigra*. El resto de las enumeradas anteriormente siguen empleándose en procesos constructivos.



Imagen 2. Visión tangencial y longitudinal de una muestra de *Pinus taeda*.
Fuente: AIDIMME

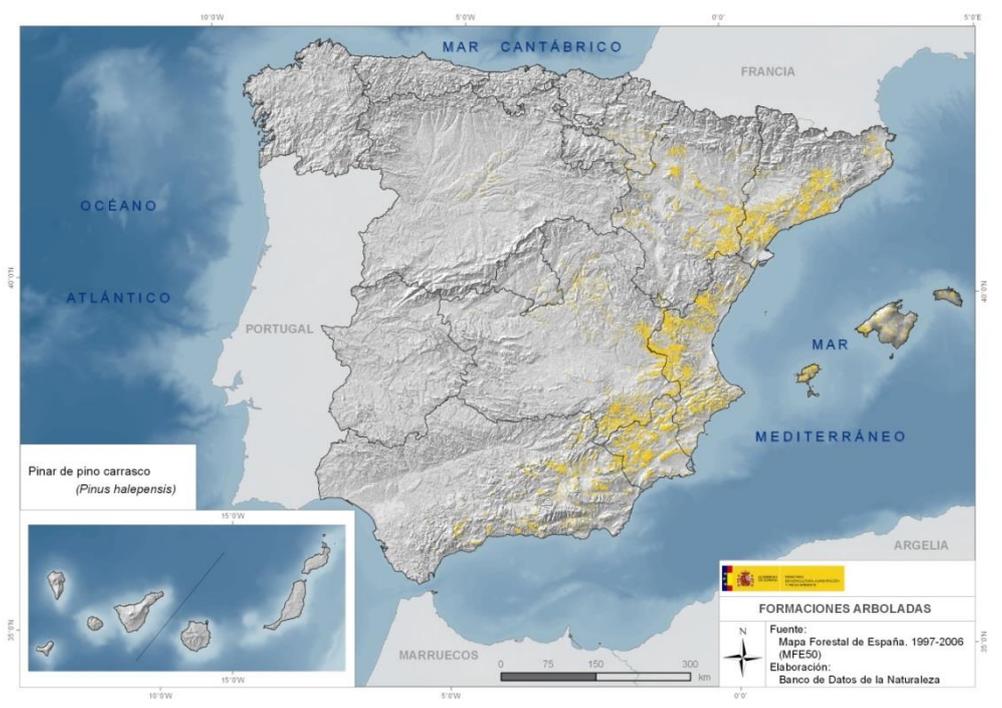


Imagen 3. Distribución del *Pinus halepensis* en España.
Fuente: Mapa Forestal de España (MFE50) (1:50.000)

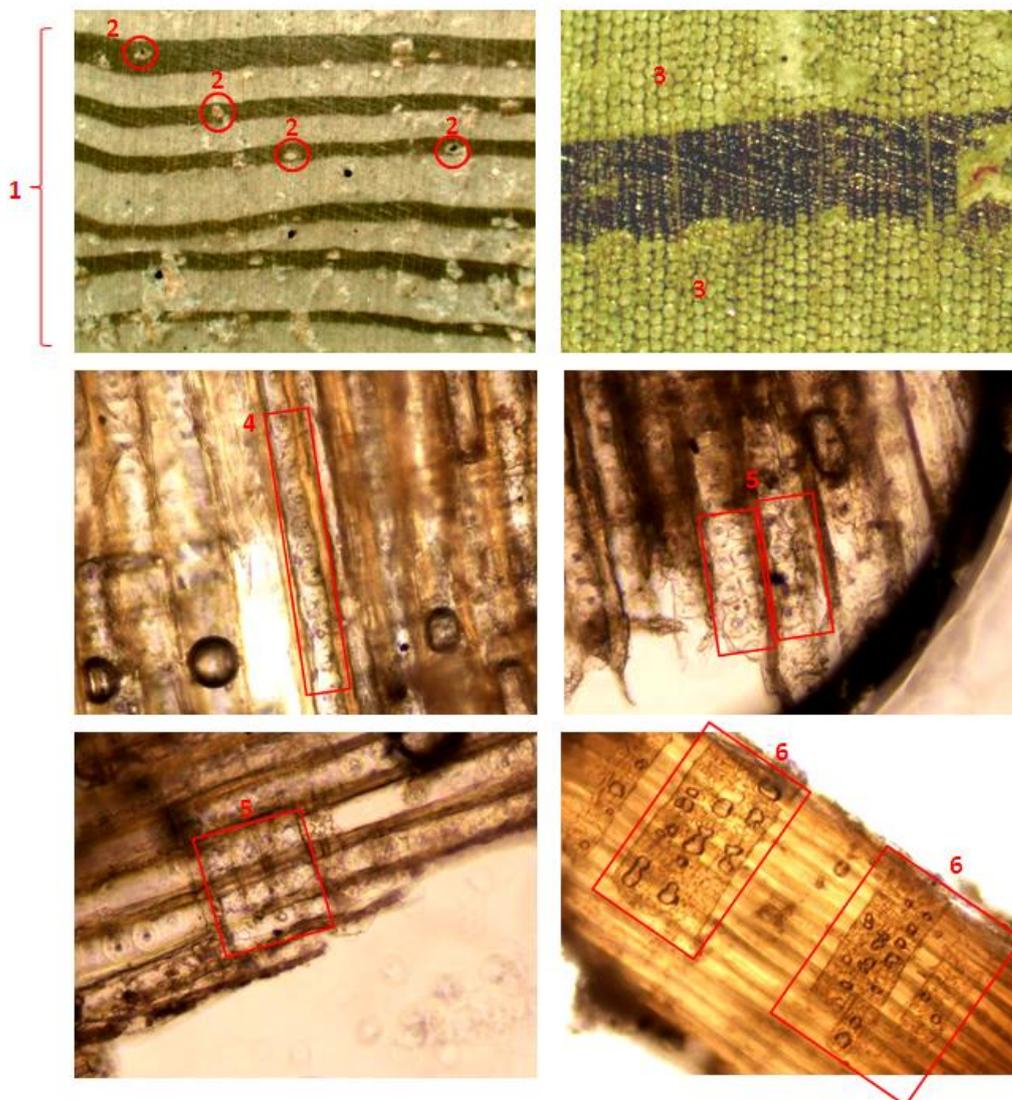


Imagen 4. Imágenes tomadas de los planos transversal, radial y tangencial de una muestra de *Pinus taeda*. Fuente: AIDIMME

También se ha realizado una completa investigación sobre las tecnologías de evaluación no destructiva de posible uso en madera estructural. Las técnicas analizadas han sido las siguientes:

- Georradar
- Microondas
- Resistografía
- Radiación de rayos X
- Ultrasonidos
- Vibraciones inducidas/ondas de presión
- Penetrometría
- Extracción de tornillos
- Termografía

Para cada una de ellas se ha preparado una extensa ficha técnica con los campos siguientes: definición de la técnica, fundamentos físicos, resultados que proporciona, validez de los resultados, ventajas, desventajas y limitaciones, referencias y patentes de interés.

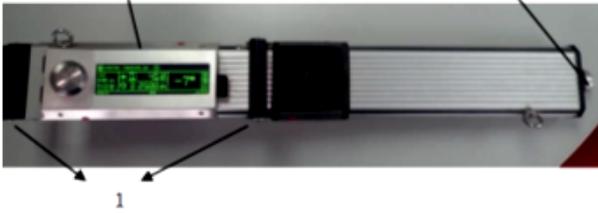
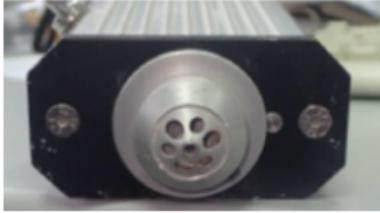
TÉCNICA:	RESISTOGRAFÍA
Definición	<p>Se basa en cuantificar, mediante un equipo denominado resistógrafo, la resistencia que ofrece la madera a la perforación mediante una broca extremadamente fina (Abián y Zapata, 2007). El equipo va registrando durante el ensayo la resistencia que presenta el material a la penetración de la broca de 3 mm de diámetro en la punta y de 1,5 mm en el fuste a velocidad constante, mediante un potenciómetro conectado al motor eléctrico.</p> <p>Por medio del potenciómetro se mide el consumo de energía eléctrica del motor encargado de la rotación de la broca. La resistencia que la madera ofrece al avance de la broca está muy relacionada con la densidad de la madera; los resultados del equipo permiten diferenciar los anillos de crecimiento, pues se registran perfectamente las variaciones de densidad entre la madera de verano y de primavera (Arriaga <i>et al.</i>, 2002), que también se denominan madera temprana (<i>earlywood</i>) o madera tardía (<i>latewood</i>), respectivamente. Como la resistografía detecta áreas de baja densidad en elementos de madera, puede detectar zonas con posible decaimiento o deterioro, así como zonas de la madera con baja densidad por motivos naturales de crecimiento del árbol del cual procede.</p> <p style="text-align: center;">Resistógrafo IML-RESI PD400</p>  <p style="text-align: center;"><i>Instrumento de perforación. 1: asideros; 2: unidad digital de registro de datos; 3: aguja perforadora. Fuente: AIDIMME</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Punta de seguridad por la cual surge la aguja perforadora. Fuente: AIDIMME</i></p> <p>En los modelos más recientes de resistógrafos, el registro de datos se realiza gráficamente a través de una memoria y una pantalla digital que reproduce las resistografías o perfiles resistográficos. Una unidad digital registra todos los datos</p>

Imagen 5. Fragmento de la ficha técnica para la técnica de evaluación no destructiva de resistografía.

TÉCNICA:	VIBRACIONES INDUCIDAS/ONDAS DE PRESIÓN
Definición	<p>Esta técnica se basa en inducir ondas de presión o impacto que recorran el elemento a inspeccionar. Al igual que en la técnica de ultrasonidos, se calcula el tiempo que tarda la onda de presión en recorrer cierta distancia, se determina la velocidad de propagación de la onda y, a partir de ésta y de la densidad del medio, se deduce el módulo de elasticidad dinámico (MOE dinámico) y el módulo de rotura o de resistencia a flexión dinámico (MOR dinámico). Como el MOE y el MOR dinámicos obtenidos así están fuertemente correlacionados con el MOE y el MOR estáticos (es decir, obtenidos mediante ensayos destructivos de flexión) y son buenos predictores de éstos (Sotomayor-Castellanos y Villaseñor-Aguilar, 2006; Acuña y Casado, 2015), puede asignarse mediante esta técnica una clase resistente al elemento analizado, según el Código Técnico de la Edificación. Si la onda se encuentra con algún tipo de defecto en el elemento analizado su tiempo de recorrido aumentará respecto al tiempo de recorrido en un elemento sin defectos.</p> <p>La onda de presión se provoca mediante un impacto producido por un martillo o mediante las vibraciones inducidas generadas por un dispositivo vibratorio. El martillo o dispositivo vibratorio incorpora un acelerómetro que emite una señal de inicio a un temporizador. Al producir el impacto en la pieza, la onda viaja por el elemento y un segundo acelerómetro, instalado en el otro lado del elemento capta el borde delantero de la onda de propagación, enviando una segunda señal al temporizador. Mediante este procedimiento se determina el tiempo de recorrido. El impacto o la vibración pueden ser producidos por un dispositivo que no lleve instalado un acelerómetro; en este caso la onda se propaga y detecta mediante dos acelerómetros instalados en dos puntos a lo largo de su trayectoria.</p> <p>Cuando la muestra de ensayo está libre por ambos extremos, o al menos por uno (como una viga o vigueta en voladizo), puede detectarse la vibración de la muestra sometida a impacto o vibración mediante cabezales de vibración o mediante cabezales láser sin contacto directo. Después, se calculan las frecuencias de resonancia mediante análisis discretos de Fourier. Conociendo la masa y las dimensiones de la muestra, las frecuencias de resonancia pueden usarse para calcular el módulo de elasticidad dinámico y, a partir de él, la resistencia a flexión dinámica y el módulo de cizalla perpendicular a la parte plana de la muestra (Bell et al., 1954).</p> <p>Algunos equipos de dimensiones reducidas basados en la técnica de vibraciones inducidas/ondas de presión que pueden encontrarse en el mercado son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - FAKKOP Microsecond Timber - FAKKOP Portable Lumber Grader - Timber Grader MTG (Rozema, 2007) - IML Micro Hammer

Imagen 6. Fragmento de la ficha técnica para la técnica de evaluación no destructiva de vibraciones inducidas/ondas de presión.

Actualmente se está desarrollando una metodología de evaluación no destructiva de la madera estructural.

En el proyecto están colaborando empresas valencianas, que aportan conocimiento 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.

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

Se difundió el proyecto y sus resultados mediante un póster y documentación en la Feria Hábitat Valencia (Feria Internacional del Mueble, Iluminación y Decoración de Valencia), celebrada del 19 al 22 de septiembre de 2017, y en el Congreso Hábitat 2017, celebrado el 18 de octubre en Feria Valencia. A este congreso asistieron 120 empresas (75 valencianas).



Imagen 7. Puesto de AIDIMME en Feria Hábitat Valencia 2017.

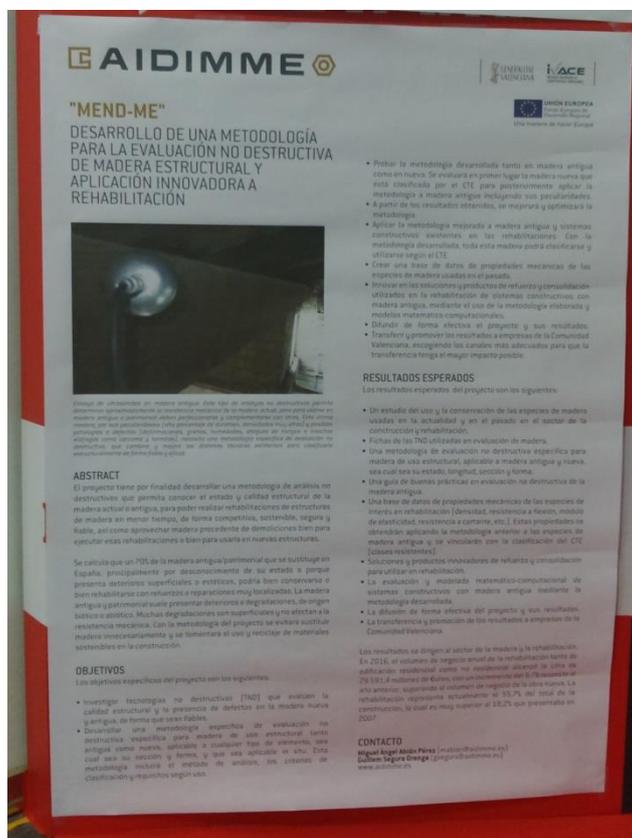


Imagen 8. Difusión del proyecto mediante póster en Feria Hábitat Valencia 2017.



Imagen 9. Congreso Hábitat 2017– Estrategia empresarial, celebrado en Feria Valencia el 19 de octubre. Se centró en la información y el intercambio de experiencias empresariales para el amplio sector económico de las industrias del hábitat, desde un planteamiento innovador e independientemente del tamaño de la empresa. Asistieron 75 empresas valencianas, de un total de 120.

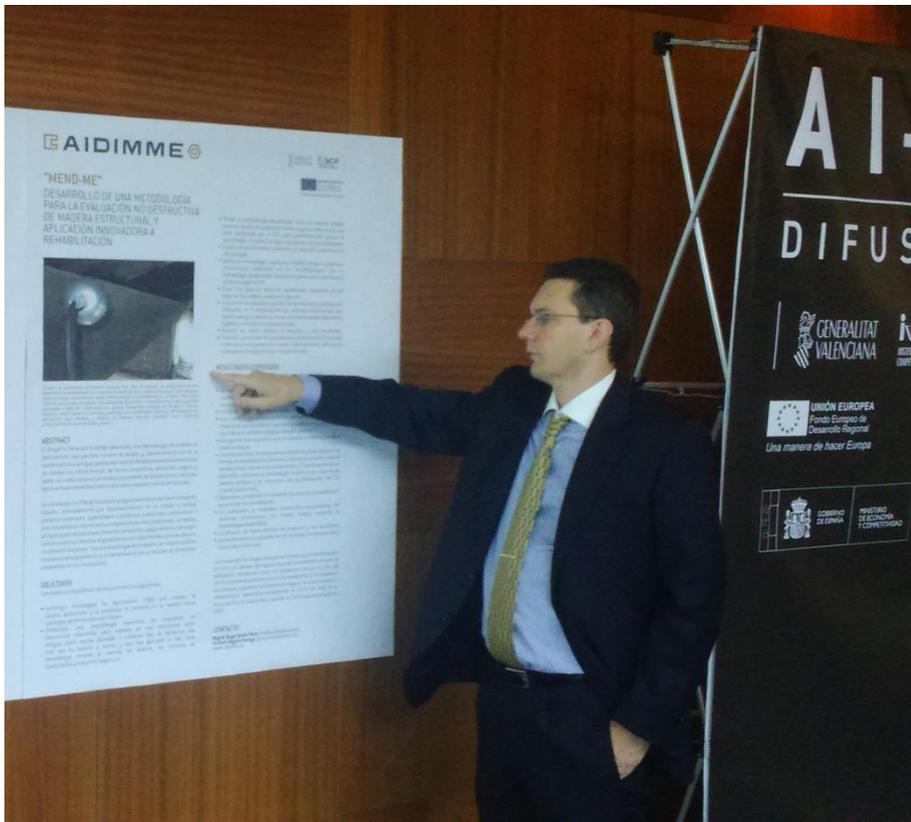


Imagen 10. Difusión del proyecto mediante póster en Congreso Hábitat 2017.



Imagen 11. Transferencia y promoción de resultados a empresas valencianas en el Congreso Hábitat 2017 mediante artículos y circulares técnicas.

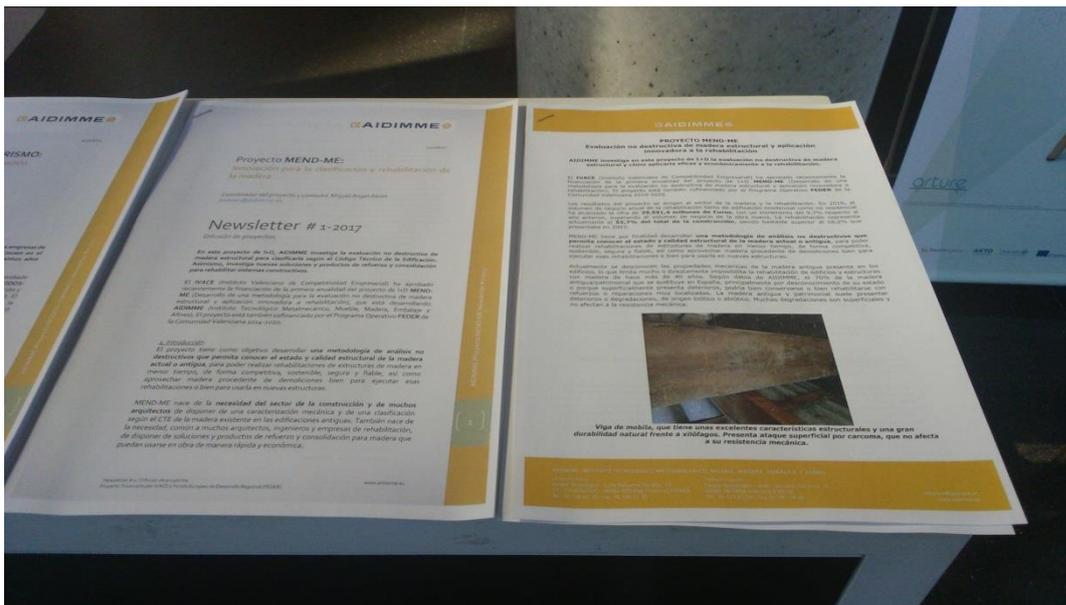


Imagen 12. Transferencia y promoción de resultados a empresas valencianas en el Congreso Hábitat 2017 mediante artículos y circulares técnicas.



**GENERALITAT
VALENCIANA**



IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa