

07/05/2021

Proyecto RESTRUCTMAD:

Soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

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

Newsletter # 2-2020/21

Difusión de proyectos

En total cooperación con empresas y entidades valencianas, AIDIMME continúa investigando y desarrollando en este proyecto de I+D soluciones innovadoras de reparación y refuerzo de estructuras de madera, con numerosas mejoras sustanciales respecto a las ya existentes.

AIDIMME sique desarrollando el proyecto de I+D en cooperación con empresas **RESTRUCTMAD** (Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera). Este proyecto está financiado por el IVACE (Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial) y cofinanciado por el Programa Operativo FEDER de la Comunidad Valenciana 2014-2020. RESTRUCTMAD empezó en junio de 2020 y concluirá en septiembre de 2021.

El objetivo general del proyecto consiste en investigar y desarrollar soluciones innovadoras de reparación y refuerzo de estructuras de madera, con mejoras sustanciales respecto a las ya existentes: mayor resistencia y capacidad portante, menor impacto medioambiental, menor coste y uso de materiales, menor tiempo de ejecución, aplicación directa en obra, etc.

Beneficios del proyecto

El retorno a la sociedad y el fomento de la cohesión del territorio de la inversión **en I+D** de RESTRUCTMAD 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 las soluciones de refuerzo y reparación de la madera, 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 las soluciones de refuerzo y reparación de la madera repercutirá de forma positiva en los proyectos de



rehabilitación de edificios antiguos con estructura de madera, al simplificar la rehabilitación y por tanto reducir las molestias a los vecinos. Asimismo, repercutirá positivamente en los proyectos de rehabilitación de edificios actuales con estructura de madera o derivados que presenten problemas de diseño, ejecución o sobrecargas; o bien que necesiten ser rehabilitados para usos distintos a los previstos inicialmente, situación cada vez más frecuente en las ciudades y municipios de la Comunitat Valenciana.

 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 más importantes 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 considerablemente el uso de 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 innovadores, basadas en madera y derivados (prótesis, por ejemplo), influirán también de modo positivo en el impacto ambiental y potenciarán el sector local de la madera, muy afectado desde hace años por la crisis de la construcción.
- La mejora de la eficiencia energética de los edificios, nuevos o rehabilitados, mediante el uso de las soluciones en las envolventes de éstos. La reciente modificación del CTE (diciembre de 2019) exige que se mejoren las envolventes térmicas de los edificios, tanto en obra nueva como en rehabilitación, y la madera es un material excelente por su baja conductividad térmica para usarse en esas envolventes.

A juicio de Miguel Ángel Abián, coordinador y director técnico del proyecto, "RESTRUCTMAD se alinea claramente tanto con la preservación del patrimonio como con las directrices europeas de uso de materiales renovables y reciclables en el sector de la construcción".



Principales resultados obtenidos: propiedades mecánicas de la madera y soluciones de refuerzo y reparación aplicables a estructuras de madera

Se realizó un completo análisis sobre las propiedades mecánicas de la madera en estructuras antiguas y modernas, y sobre las situaciones más frecuentes que requieren refuerzo o reparación.

Las estructuras antiguas se clasificaron en los siguientes tipos:

- a) **Estructuras cerchadas.** Son estructuras que tienen generalmente una buena calidad de madera. Normalmente se ejecutaban con madera por completo o bien con tirantes metálicos.
- b) **Estructuras de forjado y cubiertas.** Existen diversas morfologías y tipologías que se han utilizado desde hace siglos. La calidad de la madera y las especies utilizadas es muy variable, al igual que su estado de conservación.
 - En la **Comunitat Valenciana**, las especies que principalmente aparecen son los distintos pinos autóctonos y madera importada, incluyendo la mobila y el abeto y en algunas ocasiones elementos de chopo, tanto como madera aserrada como en forma de rollizo, dependiendo de la disponibilidad de zonas donde obtener la madera. También hubo una época en que la madera de calidad era mayoritariamente importada.



Imagen 1. Cercha completa de madera antigua.





Imagen 2. Estructura cerchada usada para cubierta y forjado.



Imagen 3. Estructura de forjado con elementos en forma de rollizo y revoltón.





Imagen 4. Estructura de madera aserrada de forjado con revoltón.

En las estructuras antiguas aparecen distintas especies, cuyas propiedades mecánicas se analizaron:

- Mobila vieja: Pinus tαedα, P. palustris, P. ellioti en forma de madera aserrada
- Pino rojo, albar o Suecia: P. sylvestris en forma de madera aserrada o rollizo
- Pino laricio o negral: Pinus nigra en forma de madera aserrada o rollizo
- Pino marítimo: Pinus pinaster en forma de madera aserrada o rollizo
- Pino blanco o carrasco: Pinus halepensis en forma de rollizo
- Abeto: Abies sp./ Piceα sp. en forma de madera aserrada
- Chopo: Populus nigra en forma de rollizo
- Roble: Quercus sp. en forma de rollizo

Se prepararon también unas fichas técnicas de las principales soluciones de refuerzo y reparación aplicables a estructuras de madera, que están disponibles en la <u>página</u> <u>web de RESTRUCTMAD</u>. Dichas soluciones son las siguientes:

- a) Reparación mediante elementos rígidos de refuerzo embebidos en resinas.
- b) Refuerzos mediante materiales compuestos de polímeros reforzados con fibras (FRP) adosados con resinas.
- c) Refuerzo mediante prótesis de madera encoladas a los elementos.



TÉCNICA 2: REFUERZO MEDIANTE PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRAS

TÉCNICA	REFUERZO MEDIANTE PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRAS
TÉCNICA Definición	Esta técnica usa materiales de plásticos reforzados con fibras (en inglés, FRP: Fibe Reinforced Polymer), que se adhieren o incrustan en los elementos de madera. Los materiales FRP son compuestos que incluyen fibras que proporcionan rigidez la capacidad de soportar cargas, embebidas en una resina polimérica que transfier las cargas entre las fibras y proporcionan protección para éstas. Estos materiale están disponibles en una amplia variedad de formas y tienen propiedades qu varían considerablemente dependiendo del material de la fibra (carbono, basalto cerámica, metales, etc.), de la proporción de fibras y de su orientación. Dos tipos de FRP muy utilizados son los GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer plásticos reforzados con fibras de vidrio) y los CFRP (Carbon Fiber Reinforce Polymer o plásticos reforzados con fibras de carbono). Para refuerzos estructurales, se usan generalmente dos formas principales de FRF varillas fabricadas por pultrusión o placas/tiras. Para refuerzos internos, las varilla pultrusionadas y las placas se colocan en ranuras o incisiones realizada previamente en el elemento. Para refuerzos externos, se usan placas o tiras que se adhieren mediante resinas al elemento de madera.
	cerámica, metales, etc.), de la proporción de fibras y de su orientación. Dos tipos de FRP muy utilizados son los GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer plásticos reforzados con fibras de vidrio) y los CFRP (Carbon Fiber Reinfort Polymer o plásticos reforzados con fibras de carbono). Para refuerzos estructurales, se usan generalmente dos formas principales de Fivarillas fabricadas por pultrusión o placas/tiras. Para refuerzos internos, las vari pultrusionadas y las placas se colocan en ranuras o incisiones realiza previamente en el elemento. Para refuerzos externos, se usan placas o tiras que
	View of translations do EPP
A122223	Viga reforzada con tiras de FRP
Proceso	Se apuntala el elemento que necesita ser reparado o consolidado. Se analiza el fallo del elemento (falta de sección, rotura parcial, grietas, etc.) y se determina su extensión.

Imagen 5. Vista parcial de la ficha correspondiente a refuerzos mediante plásticos reforzados con fibras.

Las ventajas de la solución de refuerzo mediante plásticos reforzados con fibras son las siguientes:

- Aumenta la resistencia mecánica y la capacidad portante del elemento reforzado.
- Los elementos reforzados tienen una menor variabilidad en sus propiedades que los elementos no reforzados y son más estables dimensionalmente.
- Reduce los efectos negativos de los defectos o singularidades (nudos, grietas, médula, baja densidad, etc.) de la madera en los elementos.
- La relación resistencia/peso de los FRP es excelente y su comportamiento elástico es lineal a tracción.
- Puede aplicarse in situ y de forma rápida.



- Los FRP tienen una buena resistencia a la corrosión.
- El elemento reparado puede aguantar cargas a las 24 horas de su reparación, si bien el máximo de resistencia se alcanza a los 3-7 días, dependiendo de las resinas epoxi utilizadas para unir el FRP a la madera.

Algunas desventajas y limitaciones de la solución de refuerzo mediante plásticos reforzados con fibras son las siguientes:

- Si bien hay bastante experiencia en la aplicación de esta técnica al hormigón, en el caso de la madera se necesita mucha más investigación.
- Aparte de sobre resistencia mecánica, se necesita más investigación sobre ensayos a largo plazo y sobre la durabilidad, a fin de tener en cuenta los efectos de las variaciones en contenido en humedad de la madera y en las condiciones ambientales.
- No existen factores de fluencia para deflexiones a largo plazo, como se define en los códigos técnicos o en el CTE para vigas de madera sometidas a flexión.
- No existe por ahora normativa ni tampoco quías de aplicación.
- Se empeora el aspecto visual del elemento reforzado, ya que se oculta total o parcialmente la madera.
- El coste de algunos FRP es elevado por el momento (por ejemplo, los CFRP), si bien la tendencia del precio es a la baja.
- Es necesario un control de calidad apropiado para la aplicación in situ del adhesivo.
- La técnica requiere operarios formados en ella y con experiencia.

Principales resultados obtenidos: desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para madera estructural

En las **soluciones innovadoras basadas en FRP**, se están desarrollando combinaciones de FRP de distintos tipos y de resinas epoxi para determinar la combinación más resistente y económica. Por ahora, se han reparado 20 viguetas (340x15-17x5-6 cm) de madera antigua con tiras de un CFRP (1,4 mm y 5 cm de ancho) y una resina epoxi comercial.

Previamente se determinó su resistencia mecánica mediante ensayos no destructivos de emisión-recepción de ultrasonidos, y después se realizaron los ensayos destructivos según la norma **UNE EN 408** (Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas) para determinar la mejora en resistencia.



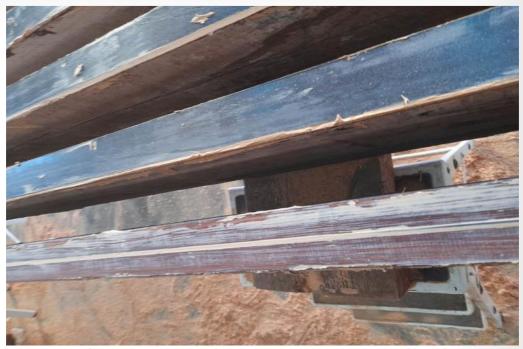


Imagen 6. Viguetas de madera antigua reforzadas por AIDIMME mediante tiras de FRP adheridas en su cara inferior.



Imagen 6. Viguetas de madera antigua reforzadas por AIDIMME mediante tiras de FRP insertadas en su cara inferior.

Las notables mejoras en resistencia a flexión y elasticidad de las vigas reforzadas se muestran en las gráficas siguientes.



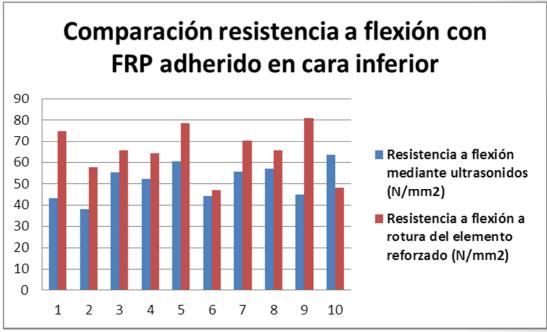


Imagen 7. El valor medio de resistencia a flexión aumentó un 30,08%. El valor medio del módulo de elasticidad aumentó un 31,22%.

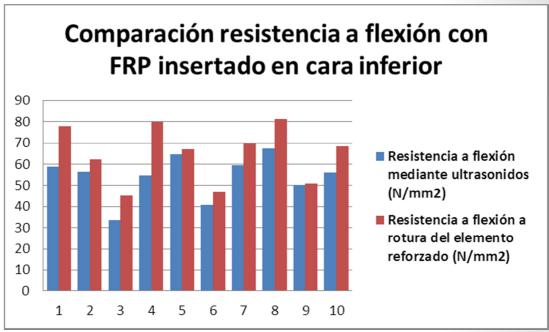


Imagen 8. El valor medio de resistencia a flexión aumentó un 19,65%. El valor medio del módulo de elasticidad aumentó un 49,44%.



En las soluciones innovadoras basadas en elementos rígidos de refuerzo embebidos en resinas, se han desarrollado distintos tacos químicos para los elementos rígidos (varillas de vidrio pretensadas) a fin de determinar cuáles son los de mejor adherencia con la madera y la varilla y cuáles son los de mayor resistencia mecánica. Para ello se realizan primero ensayos de tracción y flexión en muestras de reducidas dimensiones, y las combinaciones más prometedoras se ensayarán después con elementos reales.



Imagen 9. Ensayos de tracción en muestras de reducidas combinaciones para determinar la adherencia del taco químico.





Imagen 10. Ensayos de flexión en muestras de reducidas combinaciones para comprobar la resistencia del taco químico.

Por el momento, la resistencia media máxima obtenida a flexión ha sido de 47,4 N/mm² (con un taco químico comercial al que se ha añadido un aditivo de AIDIMME); y la resistencia a tracción, de 11-12 N/mm² (con un taco químico comercial al que se han añadido virutas de madera de un diámetro y una proporción optimizados por AIDIMME).

Cooperación de empresas y transferencia tecnológica

En el proyecto cooperan directamente varias 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. Periódicamente se celebran reuniones presenciales con ellas.





Imagen 11. Fotografía de una de las reuniones entre la empresa cooperadora del proyecto INCOFUSTA y AIDIMME para planificar el proyecto.

Además, se difunde el proyecto y se realiza transferencia tecnológica de los resultados mediante reuniones presenciales con empresas, entidades y profesionales interesados. En las reuniones se entrega tanto información general como resultados técnicos del proyecto.



Imagen 12. Fotografía de la reunión entre la empresa valenciana LASAR MANAGEMENT y AIDIMME, en la que se difundió el proyecto RESTRUCTMAD y se realizó transferencia tecnológica de sus resultados.

El proyecto se difundió y se realizó transferencia tecnológica de sus resultados en el congreso **EXPOCIDA MADERA 2021** (10-11 de marzo), que tuvo 550 asistentes (empresas y profesionales). También se ha realizado recientemente transferencia tecnológica de sus resultados mediante una **ponencia** celebrada el 6 de mayo en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la UPV.

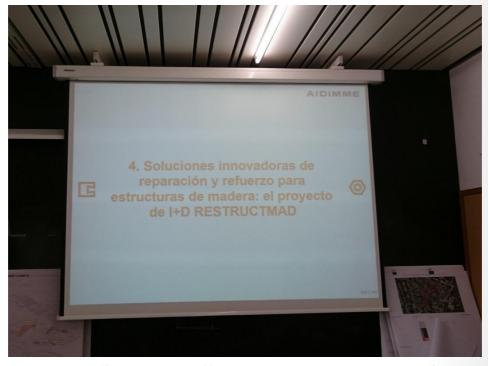


Imagen 13. Fotografía de la presentación sobre RESTRUCTMAD para la ponencia celebrada en ETSA-UPV.

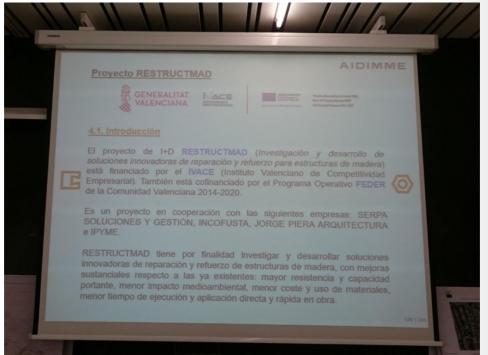


Imagen 14. Fotografía de la presentación sobre RESTRUCTMAD para la ponencia celebrada en ETSA-UPV (primera diapositiva).

13



Los principales resultados de RESTRUCTMAD están disponibles, a medida que van obteniéndose, **de forma abierta, pública y gratuita** en la página electrónica de AIDIMME.

Para más información sobre el proyecto contacte con AIDIMME.







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