

Proyecto RESTRUCTMAD:

Soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

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

Newsletter # 3-2020/21

Difusión de proyectos

En este proyecto de I+D se han investigado y desarrollado soluciones innovadoras de reparación y refuerzo de estructuras de madera, con numerosas mejoras sustanciales respecto a las ya existentes.

Ha concluido 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 ha concluido en septiembre de 2021.

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 y empresas de software para estructuras.

El objetivo general del proyecto ha consistido 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.

Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos del proyecto han sido los siguientes:

- **Un análisis de las propiedades mecánicas de la madera** en estructuras antiguas y modernas.
- **Un análisis de las situaciones más frecuentes en las estructuras que requieren refuerzo o reparación.**

- **Un estudio de las soluciones actuales para reparar y reforzar estructuras de madera.**
- **Fichas técnicas de las soluciones actuales** para reparar y reforzar estructuras de madera.
- **Soluciones innovadoras de refuerzo y reparación**, con ventajas sustanciales respecto a los existentes en tres aspectos: sostenibilidad, competitividad y fiabilidad.
- Una **guía de aplicación** de las soluciones desarrolladas.
- La **aplicación de las soluciones desarrolladas** a elementos con baja resistencia, degradados o con roturas o principios de rotura.
- La **caracterización mecánica, según el CTE, de los elementos reparados/reforzados.**
- La **difusión** de forma efectiva del proyecto y sus resultados.
- La **transferencia y promoción de los resultados** a empresas de la Comunitat Valenciana.

Principales resultados obtenidos en la última etapa del proyecto: soluciones innovadoras de refuerzo para madera estructural basada en FRP

En las **soluciones innovadoras basadas en FRP**, se desarrollaron combinaciones de FRP de distintos tipos y de resinas epoxi para determinar la combinación más resistente y económica. Finalmente, con la combinación más favorable, se repararon 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.

Antes de reforzar las viguetas 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 1. Viguetas de madera antigua reforzadas por AIDIMME mediante tiras de FRP adheridas en su cara inferior.



Imagen 2. 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.

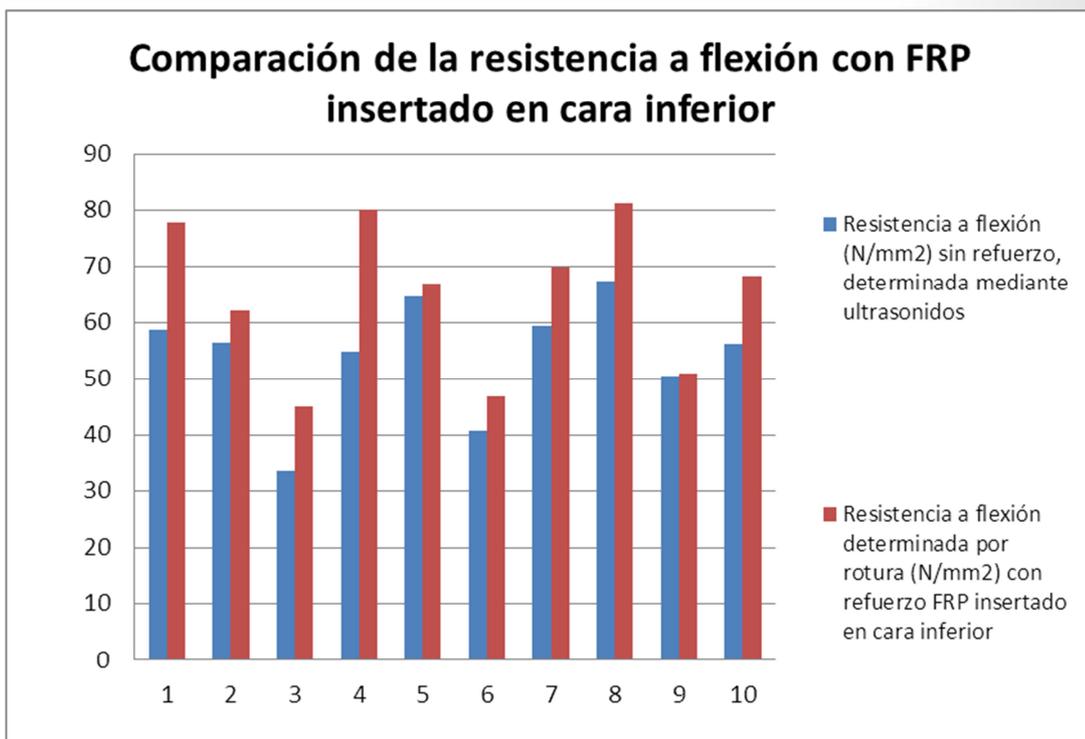


Imagen 3. Comparación entre la resistencia a flexión (MOR) con la viga sin reforzar y con la viga reforzada mediante tira de FRP insertada en su cara inferior.

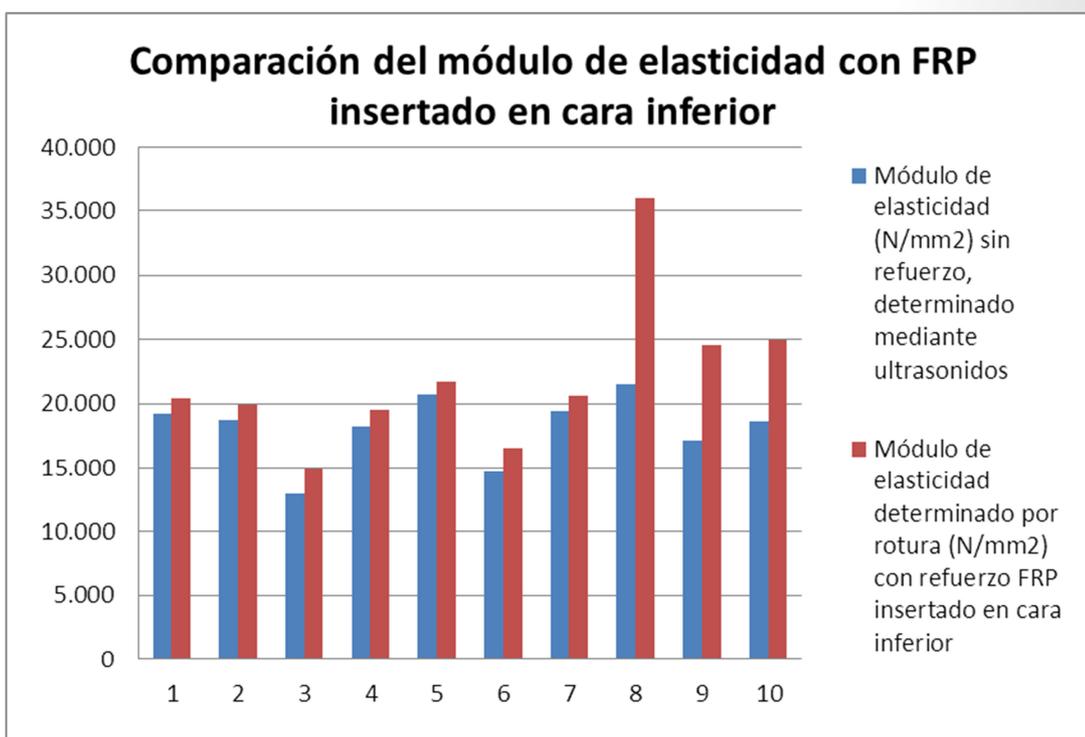


Imagen 4. Comparación entre el módulo de elasticidad (MOE) con la viga sin reforzar y con la viga reforzada mediante tira de FRP insertada en su cara inferior.

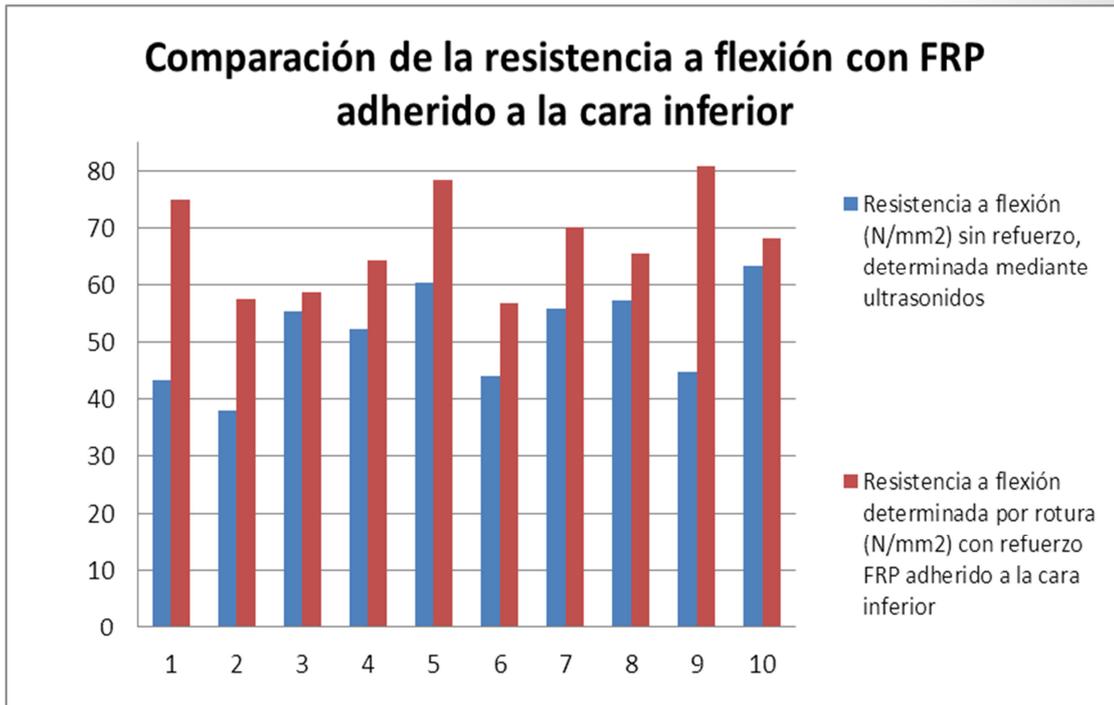


Imagen 5. Comparación entre la resistencia a flexión (MOR) con la viga sin reforzar y con la viga reforzada mediante tira de FRP adherida a su cara inferior.

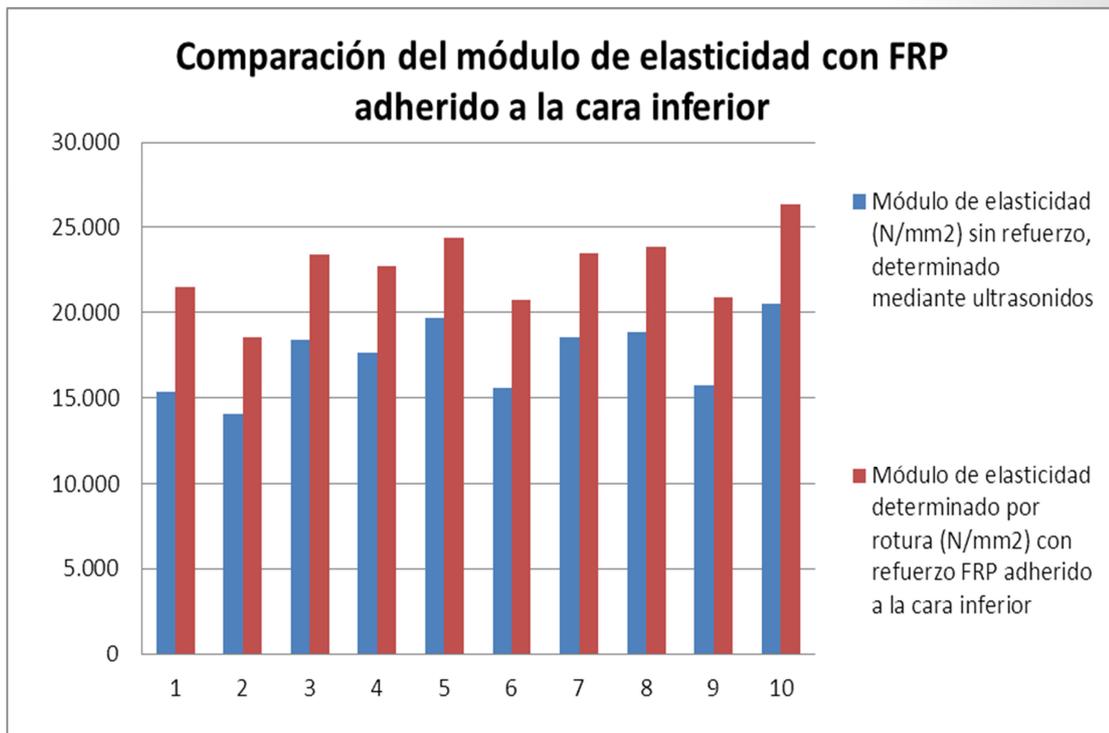


Imagen 6. Comparación entre el módulo de elasticidad (MOE) con la viga sin reforzar y con la viga reforzada mediante tira de FRP adherida a su cara inferior.

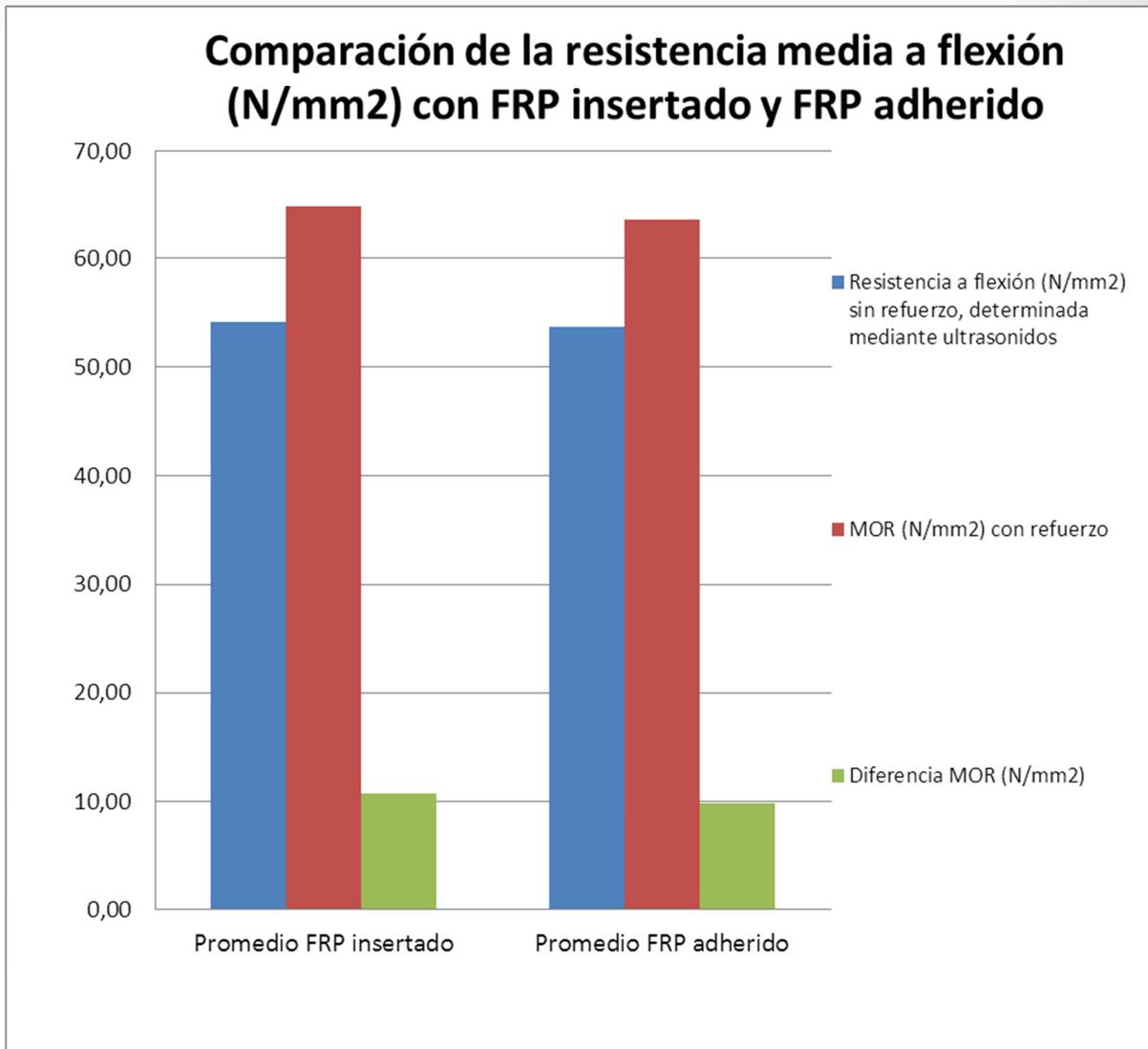


Imagen 6. Comparación entre la resistencia media a flexión (MOR) con la viga sin reforzar y con la viga reforzada mediante tira de FRP adherida a su cara inferior.

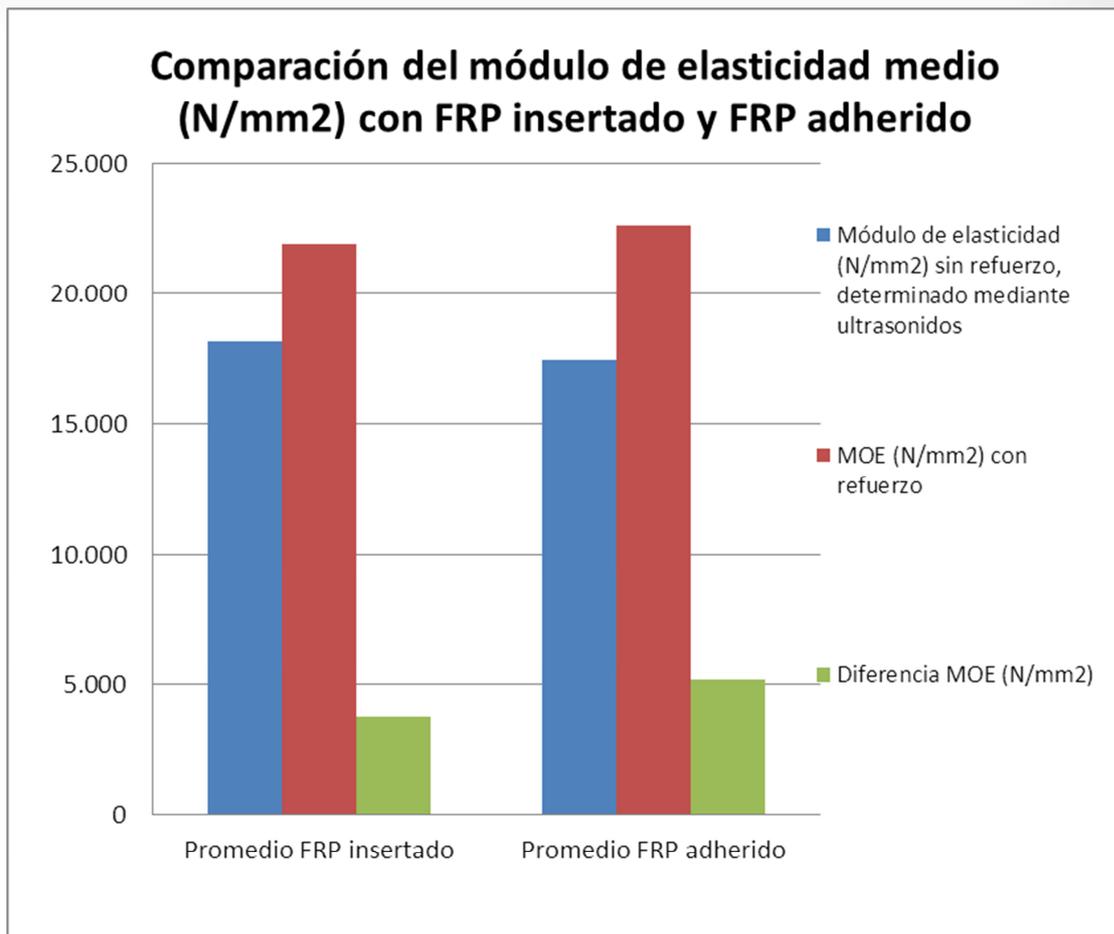


Imagen 7. Comparación entre el módulo de elasticidad (MOE) medio con la viga sin reforzar y con la viga reforzada mediante tira de FRP adherida a su cara inferior.

En resumen, la solución de refuerzo mediante FRP es muy efectiva y totalmente compatible con la madera. Aumentó significativamente la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad de las viguetas reforzadas. En el caso del FRP insertado en la cara inferior de la vigueta, el MOR aumentó un 19,65%, y el MOE, un 20,82%. En el caso del FRP adherido a la cara inferior de la vigueta, el MOR aumentó un 31,30 %, y el MOE, un 29,54 %.

Esta solución tiene también la ventaja de que es sencilla de aplicar tanto en laboratorio como en obra.

Principales resultados obtenidos en la última etapa del proyecto: solución innovadora de reparación para madera estructural mediante prótesis de madera

Se cortaron 5 viguetas de madera antigua con corte vertical ("v") y 5 viguetas de madera antigua con corte en diagonal ("d"), todas de dimensiones 430x17-18x5-6 cm. Las partes cortadas simularon prótesis, que se unieron al resto de las viguetas mediante varillas de vidrio pretensadas unidas a la madera con taco químico.

Antes de cortarlas, las viguetas se caracterizaron mediante ultrasonidos para conocer la resistencia inicial de cada una y, posteriormente, comparar la resistencia final una vez reparadas.

Las siguientes imágenes ilustran el tipo de corte y los ensayos a flexión que se realizaron después.

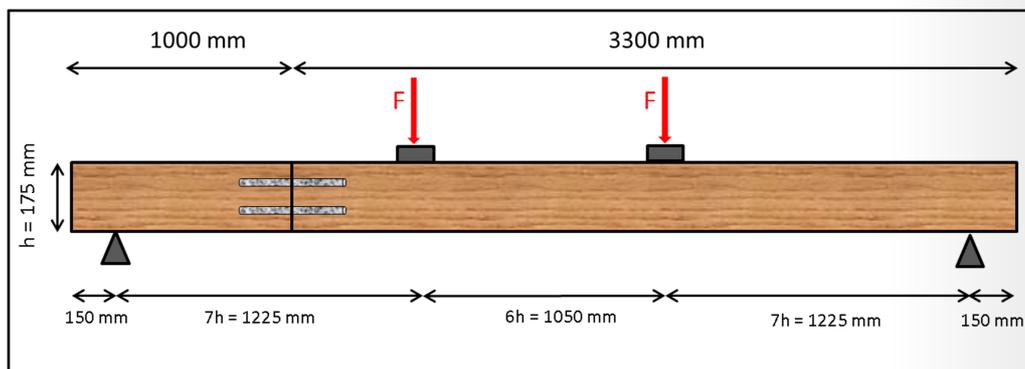


Imagen 8. Esquema de ensayo a flexión con las medidas reales para el ángulo de 90°.

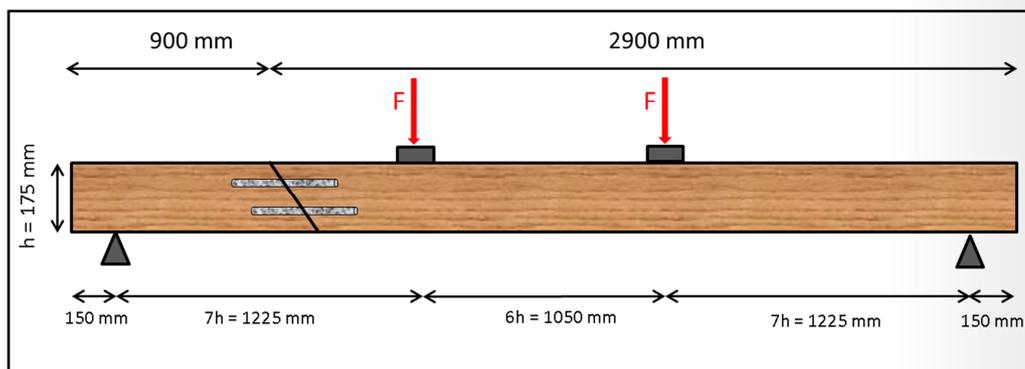


Imagen 9. Esquema de ensayo a flexión con las medidas reales para el ángulo de 45°.



Imagen 10. Rotura, durante el ensayo de flexión, de una vigueta con corte vertical reparada con prótesis de madera.



Imagen 11. Rotura, durante el ensayo de flexión, de una vigueta con corte diagonal reparada con prótesis de madera.

La siguiente gráfica muestra los resultados de la resistencia a flexión, para corte vertical y diagonal, antes y después de las reparaciones de las viguetas mediante prótesis.

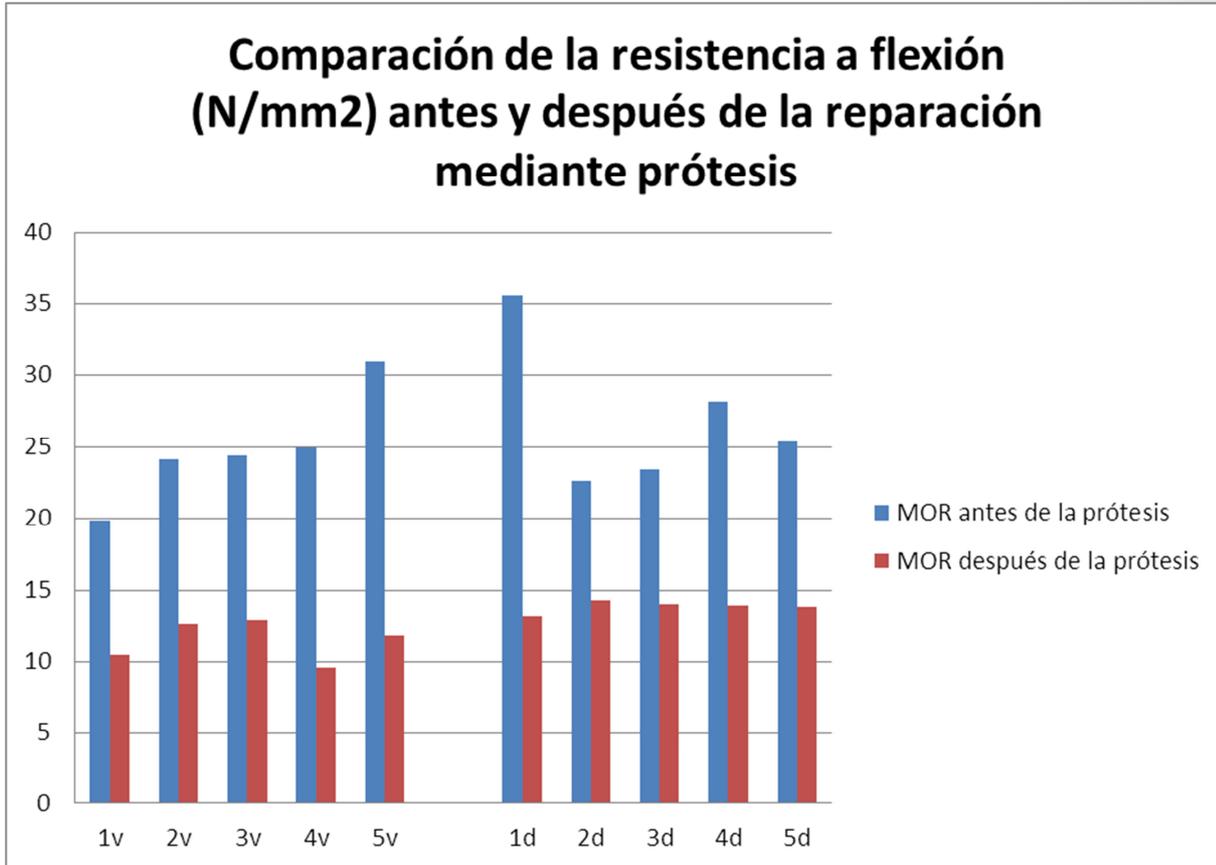


Imagen 12. Comparación de la resistencia a flexión, para corte vertical y diagonal, antes y después de las reparaciones de las viguetas mediante prótesis.

En ninguno de los casos ensayados se consigue superar los 14 N/mm² de media (que corresponderían a una clase resistente del C14, que es la clase resistente mínima del CTE), por lo cual se considera que el taco químico empleado en esta solución no es adecuado para rehabilitación, o que el tipo de corte debe ser más complejo para permitir mayor superficie de encolado.

Se pierde entre un 60 y un 70% de resistencia en comparación con la resistencia a flexión de las viguetas originales.

En el futuro será necesario investigar más tacos químicos o desarrollar alguno específico para prótesis de madera, así como probarlos con cortes más complicados que el vertical o el diagonal (por ejemplo, rayo de Júpiter).

Principales resultados obtenidos en la última etapa del proyecto: soluciones innovadoras de reparación para madera estructural basada en elementos rígidos de refuerzo embebidos en resinas

En las **soluciones innovadoras basadas en elementos rígidos de refuerzo embebidos en resinas**, se determinaron qué tacos químicos eran los más adecuados para los elementos rígidos (varillas de vidrio pretensadas), en cuanto a mejor adherencia con la madera y la varilla y mayor resistencia mecánica.

Se repararon 20 viguetas de madera antigua de pino silvestre de 380x15x6 cm. Inicialmente estaban intactas y se cortaron con motosierra para simular zonas deterioradas que hubieran sido eliminadas como paso previo a la reparación de las viguetas.

Antes de cortarlas, las viguetas se caracterizaron mediante ultrasonidos para conocer la resistencia inicial de cada una y, posteriormente, comparar la resistencia final una vez reparadas.



Imagen 13. Viguetas seleccionadas para la reparación mediante elementos rígidos de refuerzo embebidos en resinas.

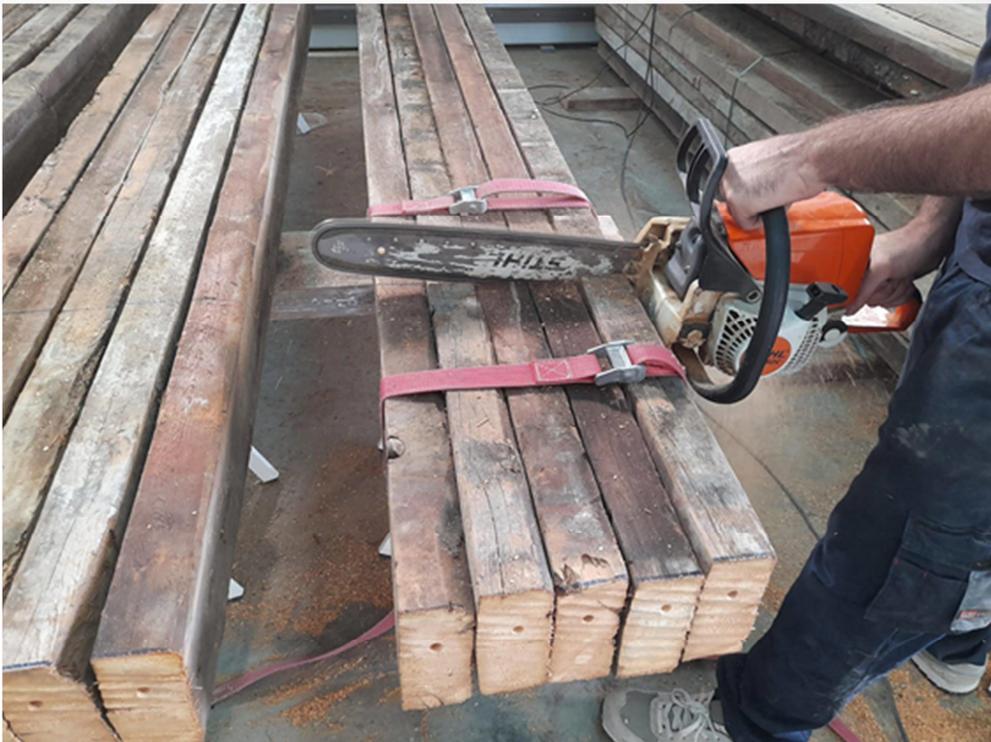


Imagen 14. Corte con motosierra de las viguetas para simular zonas deterioradas eliminadas como paso previo a la reparación.



Imagen 15. Viguetas "saneadas" con el elemento rígido ya colocado (varillas de vidrio pretensadas).

Para el material de encofrado se hicieron 5 mezclas:

- a) Resina A + arena
- b) Resina A + arena + corcho
- c) Resina A + arena + serrín
- d) Resina A + arena + madera tamizada
- e) Resina A + arena + madera tamizada + serrín



Imagen 16. Vertido de una de las mezclas de encofrado.



Imagen 17. Resultado antes de desencofrar.



Imagen 18. Viguetas finales una vez desencofradas.

La siguiente imagen muestra los resultados obtenidos de la resistencia a flexión, antes y después de la reparación mediante elementos rígidos de refuerzo embebidos en resinas.

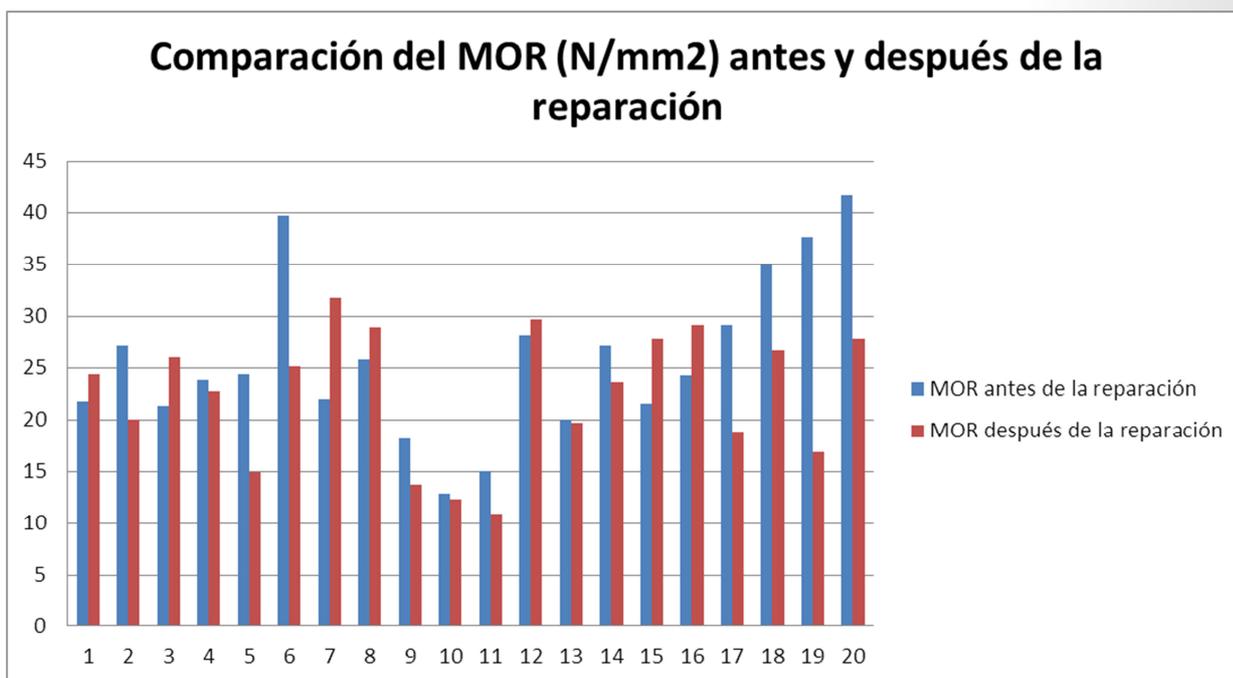


Imagen 19. Comparación entre la resistencia a flexión antes y después de la reparación, para todas las mezclas.

La siguiente imagen muestra los promedios de la resistencia a flexión, antes y después de la reparación.

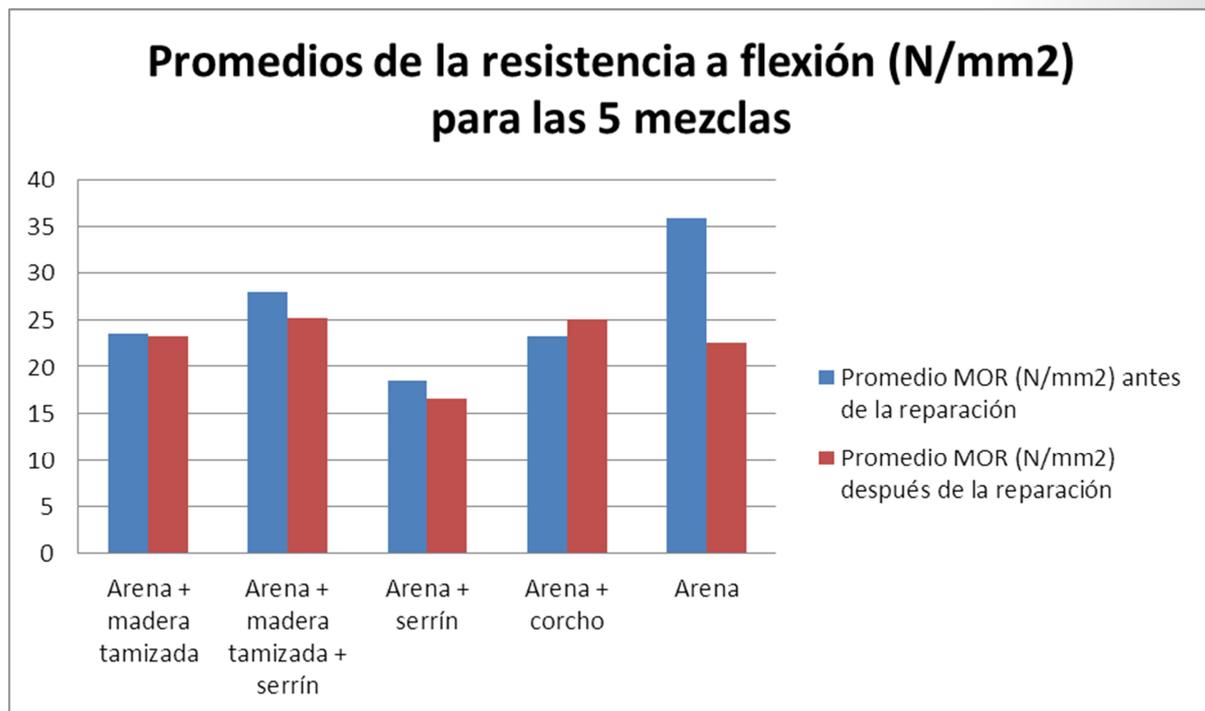


Imagen 20. Comparación entre la resistencia a flexión media antes y después de la reparación, para todas las mezclas.

En conclusión, para la reparación mediante elementos rígidos de refuerzo embebidos en resinas, las mezclas para encofrado de resina A+madera tamizada y resina A+madera tamizada+serrín son las que mejor cumplen los dos requisitos siguientes, que resultan imprescindibles para una solución de reparación de madera estructural:

- a) Buena adherencia y unión sólida de la mezcla a la madera normal, sin degradaciones.
- b) Resistencia a flexión total del elemento reparado muy similar o superior a la del elemento "sano".

Ambas mezclas no aumentan la resistencia de flexión del elemento reparado, pero sí proporcionan una resistencia muy similar a la de madera "sana" de calidad media. Además, utilizan materias primas renovables y reciclables (madera tamizada y serrín).

Los principales resultados de RESTRUCTMAD están disponibles **de forma abierta, pública y gratuita** en la página electrónica de AIDIMME (https://www.aidimme.es/serviciosOnline/difusion_proyectos/detalles.asp?id=28799).

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



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE
INSTITUTO VALENCIANO DE
COMPETITIVIDAD 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"