

2020-2021
ENTREGABLE



Proyecto "RESTRUCTMAD"

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE SOLUCIONES INNOVADORAS DE REPARACIÓN Y REFUERZO PARA ESTRUCTURAS DE MADERA

ENTREGABLE:

3.4 - Guía de aplicación de las soluciones desarrolladas de reparación y refuerzo

Número de proyecto: 22000046

Expediente: IMDEEA/2020/18

Duración: Del 01/07/2020 al 30/09/2021

Coordinado en AIDIMME por: ABIÁN PÉREZ, MIGUEL ANGEL

Línea de I+D: **BIOMATERIALES**

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

Índice

RESUMEN EJECUTIVO	3
1 REPARACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS RÍGIDOS DE REFUERZO EMBEBIDOS EN RESINA....	4
1.1 Proceso de aplicación.....	4
1.2 Ventajas, desventajas y recomendaciones para la solución de reparación mediante elementos rígidos de refuerzo embebidos en resina	10
2 REFUERZOS MEDIANTE MATERIALES COMPUESTOS DE POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS (FRP).....	11
2.1 Proceso de aplicación.....	11
2.2 Ventajas, desventajas y recomendaciones para la solución de refuerzo mediante materiales compuestos de polímeros reforzados con fibras (FRP).....	17
3 REFUERZO MEDIANTE PRÓTESIS DE MADERA ENCOLADAS EN LOS ELEMENTOS	18
3.1 Proceso de aplicación.....	18
3.2 Ventajas, desventajas y recomendaciones para la solución de reparación mediante prótesis de madera encoladas en los elementos	27

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

RESUMEN EJECUTIVO

Este documento es una guía que tiene como objetivo la **transferencia tecnológica y la promoción de resultados relativos a las soluciones de reparación y refuerzo para madera estructural**.

En concreto, es una guía metodológica para ejecutar los tres tipos de soluciones de reparación y refuerzo investigadas en el proyecto RESTRUCTMAD.

En ella se explica paso a paso cómo ejecutar cada solución de reparación y refuerzo con imágenes ilustrativas, a fin de facilitar el conocimiento de las soluciones y su aplicación en obra. También se detallan las ventajas y desventajas de cada una.

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

1 REPARACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS RÍGIDOS DE REFUERZO EMBEBIDOS EN RESINA

1.1 PROCESO DE APLICACIÓN

El proceso de montaje consiste en utilizar una mezcla de resina epoxi con arena, madera de diferentes tamaños, vermiculita, corcho, etc.

Esta mezcla hace la función de prótesis de la parte dañada de la viga y se une a ésta mediante un elemento rígido (normalmente, una varilla de fibra de vidrio) que se adhiere a la viga con un adherente. Este adherente puede estar compuesto por resina epoxi bicomponente con cargas o resina epoxi bicomponente tixotrópica.

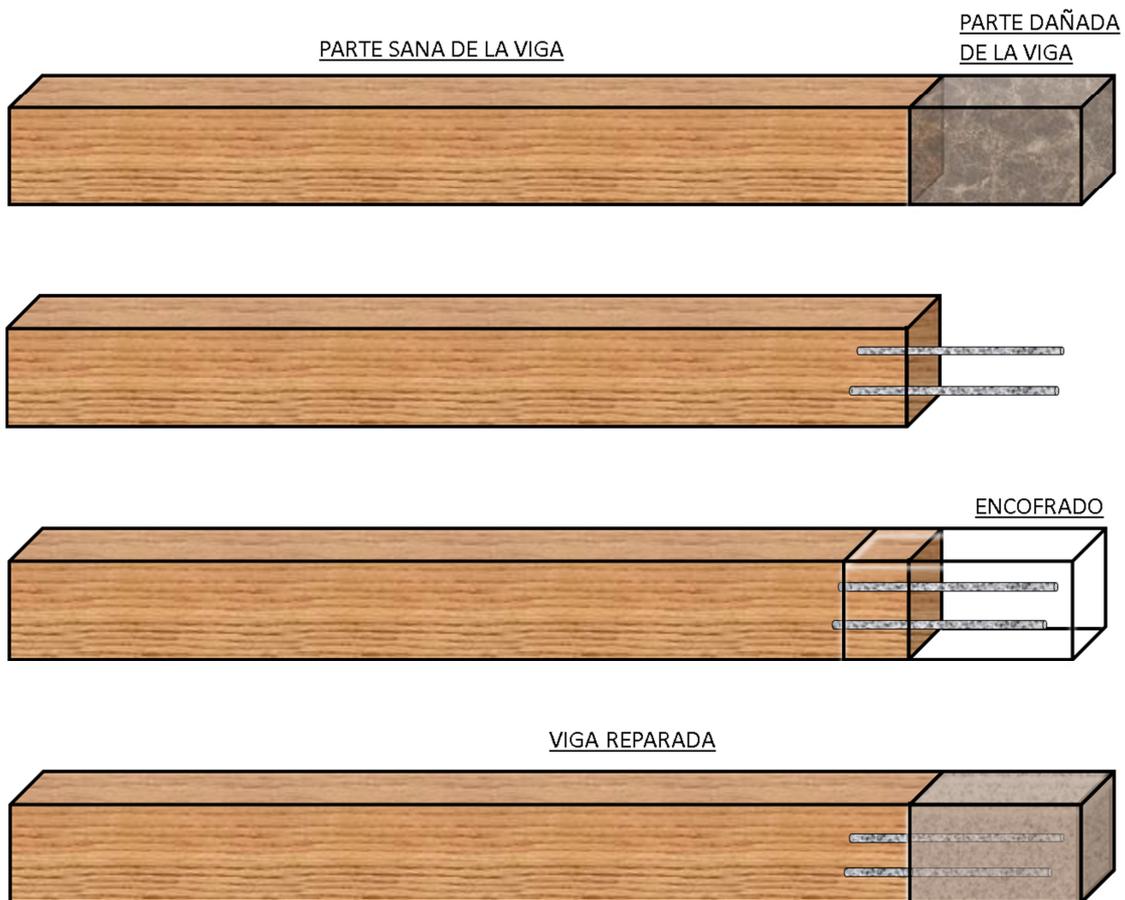


Figura 1. Esquema del proceso de reparación

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

El primer paso consiste en realizar un corte a la parte dañada de la viga con la motosierra para sanearla y evitar que se extienda el daño a toda la viga.

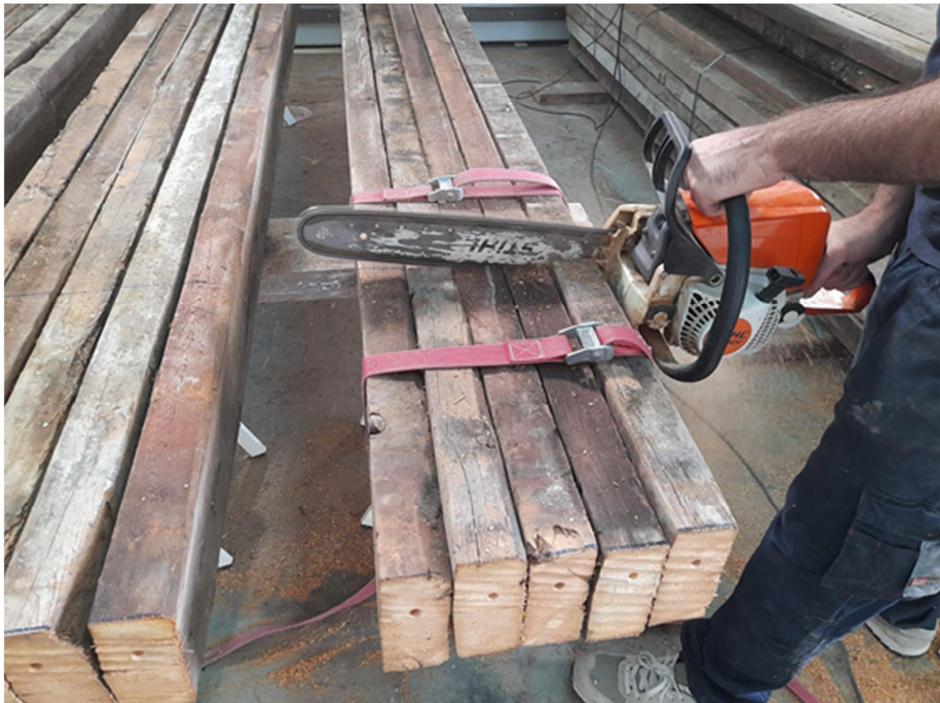


Figura 2. Corte con la motosierra de la parte dañada

Posteriormente, se procede a realizar dos agujeros con un taladro en cada cara cortada de la viga para poder introducir la varilla de fibra de vidrio de entre 8 y 12 mm. Los agujeros tendrán una profundidad de alrededor 150 mm y se llevan a cabo con una broca del taladro 1 o 2 mm mayor que el grosor de la varilla.



Figura 3. Realización de los agujeros con el taladro

Entonces se cortan las varillas de fibra de vidrio con una longitud en torno a cuatro veces la profundidad del agujero.

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera



Figura 4. Corte de las varillas

Con ayuda de una pistola de silicona, se impregna el adherente por el orificio y se introducen las varillas.



Figura 5. Introducción del adherente con la pistola

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera



Figura 6. Partes sanas de las vigas con varillas de fibra de vidrio adheridas

El siguiente paso consiste en formar un encofrado para añadir la mezcla que constituye la parte reparada del elemento. Dicho elemento se realiza con tablas atornilladas entre sí, dejando un hueco con la longitud y sección del elemento a reparar. Tras dar forma al encofrado, las juntas se cierran con un plastificado y silicona, para que la mezcla no pegue al molde ni se salga por las juntas.



Figura 7. Encofrado premontado, plastificado y sellado.

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

El encofrado presenta una longitud superior a la longitud a reparar, a fin de poder atornillarlo a la parte sana de la viga.



Figura 8. Encofrado atornillado a la viga

El procedimiento sigue con la elaboración de la mezcla que actuará como prótesis de la viga y la introducción en el encofrado.



Figura 9. Vigas completas con la mezcla

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

Se deja que la mezcla fragüe durante un día aproximadamente y se retira el encofrado.



Figura 10. Retirada del encofrado

Las vigas consiguen su resistencia máxima en torno a una semana de fraguado.



Figura 11. Resultado final

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

1.2 VENTAJAS, DESVENTAJAS Y RECOMENDACIONES PARA LA SOLUCIÓN DE REPARACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS RÍGIDOS DE REFUERZO EMBEBIDOS EN RESINA

VENTAJAS:

- Resistencia similar a la viga.
- Materiales fáciles de conseguir.
- Montaje sencillo sin necesidad de mucha maquinaria.
- Visualmente parecido a la viga en función del elemento para la mezcla.

DESVENTAJAS:

- Elevado peso en función de las mezclas.
- Dificultad de montaje en obra cuando el espacio es pequeño o no se puede acceder a la parte superior de la viga para introducir la mezcla en el encofrado.

RECOMENDACIONES:

- Utilizar un adherente para la varilla que sea suficiente fluido para trabajar fácilmente en obra, pero a la vez viscoso para que no se derrame cuando se coloque en altura.
- Para la parte reparada, la resina sola eleva excesivamente su temperatura. Para compensar es recomendable añadir arena (que consigue reducir la temperatura) en una proporción adecuada para bajar la temperatura, pero junto a otro material para aligerar la mezcla. De este modo, también se necesita menos cantidad de resina, que es el material que aumenta el coste de la reparación.
- Elegir como material para mezclar con la arena madera, serrín o virutas, ya que de este modo el aspecto visual de ambas partes de la viga reparada es similar.

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

2 REFUERZOS MEDIANTE MATERIALES COMPUESTOS DE POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS (FRP)

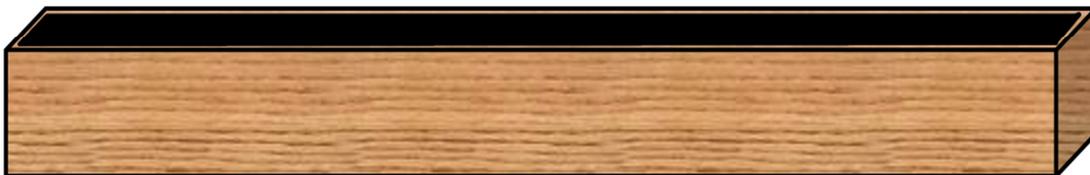
2.1 PROCESO DE APLICACIÓN

En este caso la solución se basa en reforzar la parte inferior de la viga colocando una banda o tira de polímero reforzado con fibras (por ejemplo, fibras de carbono). La banda se puede colocar solapada a la cara inferior de la viga o incrustada en esa misma cara.

VIGA INICIAL



FRP SOLAPADO EN CARA INFERIOR



FRP INCRUSTADO EN CARA INFERIOR

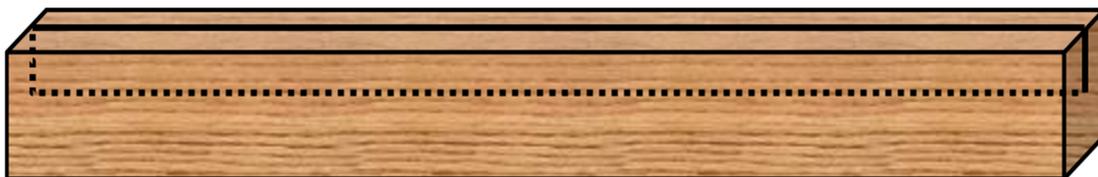


Figura 12. Esquema del refuerzo

La reparación resulta diferente para el FRP solapado y el incrustado. En el caso del solapado, solamente se iguala con el cepillo eléctrico la cara inferior de la viga, pues es el lugar donde se coloca la banda de FRP.

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera



Figura 13. Pulido con el cepillo de la sección para el FRP solapado

En cambio, en el incrustado, además del cepillado tiene que realizarse un corte con una sierra de disco para poder introducir la banda de FRP en la posición incrustada.



Figura 14. Ranurado con sierra de disco para el FRP incrustado

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera



Figura 15. Detalle del corte de la sierra para el FRP incrustado

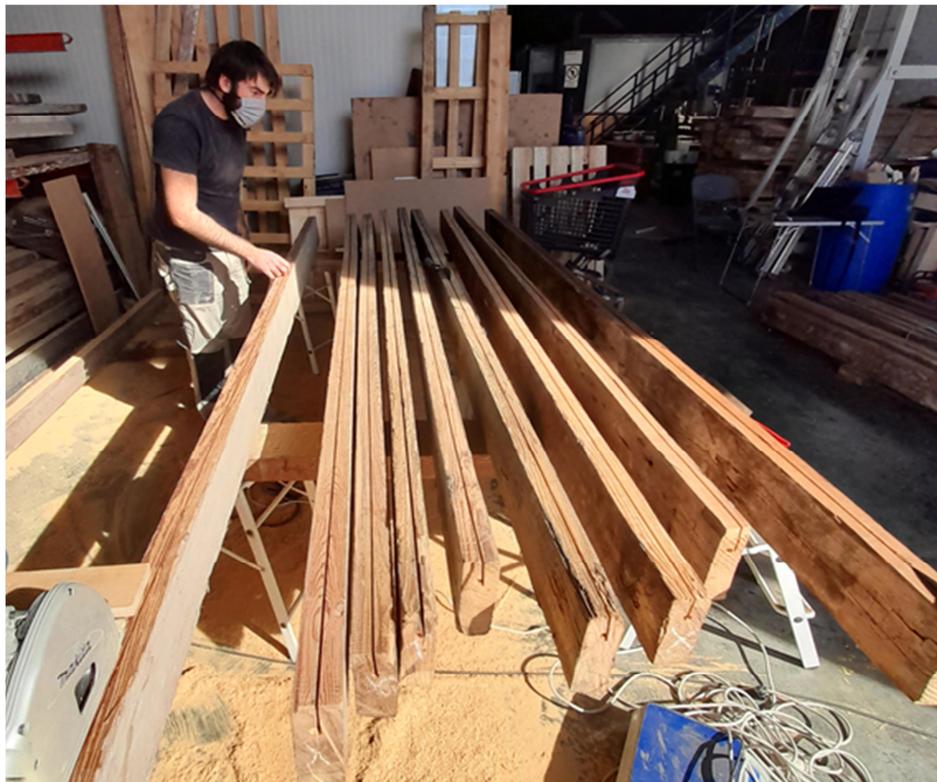


Figura 16. Resultado del corte de la sierra para el FRP incrustado

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

El adhesivo que se utiliza en este caso es una resina epoxi trioxtrópica; se coloca tanto en la cara pulida para el solapado como en la ranura para el incrustado.



Figura 17. Encolado de FRP solapado

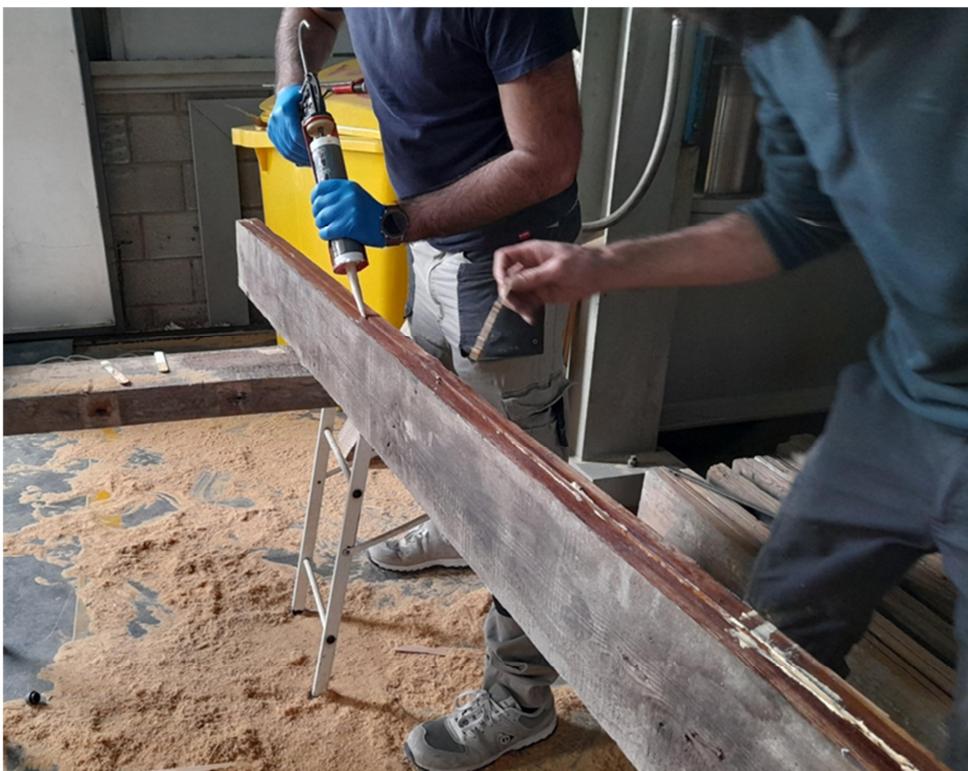


Figura 18. Encolado FRP incrustado

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

Para el solapado, se debe ejercer una presión uniforme sobre la lámina de FRP que garantice el contacto y adhesión de la lámina con la resina y la madera.



Figura 19. Resultado final con FRP solapado



Figura 20. Resultado final con FRP solapado para todas las vigas



“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

En el caso del incrustado, se debe de ajustar bien la lámina o tira para que la cantidad de resina a cada lado sea uniforme. La lámina debe presionarse hasta que quede totalmente incrustada y la resina sobrante salga de la hendidura.



Figura 21. Resultado final FRP incrustado

Finalmente, debe esperarse en torno a una semana para que la resina quede completamente curada y adherida con el FRP.

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

2.2 VENTAJAS, DESVENTAJAS Y RECOMENDACIONES PARA LA SOLUCIÓN DE REFUERZO MEDIANTE MATERIALES COMPUESTOS DE POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS (FRP)

VENTAJAS:

- Mejora la resistencia estructural del elemento (más uniforme el solapado).
- Fácil colocación en obra (en especial el solapado).

DESVENTAJAS:

- No se mantiene la estética del elemento, ya que el color negro provoca un contraste en el solapado (en el incrustado no ocurre porque apenas se ve). Esto puede solucionarse colocando una lámina de chapa, tablero o madera en la cara inferior del elemento.

RECOMENDACIONES:

- Utilizar la posición solapada cuando se quiera mejorar de manera uniforme el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión. La posición incrustada mejora mucho el módulo de elasticidad, pero poco la resistencia a flexión.

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

3 REFUERZO MEDIANTE PRÓTESIS DE MADERA ENCOLADAS EN LOS ELEMENTOS

3.1 PROCESO DE APLICACIÓN

La solución de refuerzo con prótesis de madera es parecida a la primera de las soluciones. La diferencia radica en que, en la otra reparación, la prótesis está compuesta de una mezcla con resina, y en este caso es una prótesis de madera antigua ajena, pero con características similares a la viga en uso.

Esta reparación consiste en cortar la parte dañada de la viga en un ángulo de 45° o de 90° y después añadir la prótesis de madera a la viga original mediante varillas de fibra de vidrio adheridas con una resina epoxi con cargas o una resina epoxi bicomponente trioxotrópica (las varillas también pueden ser metálicas).

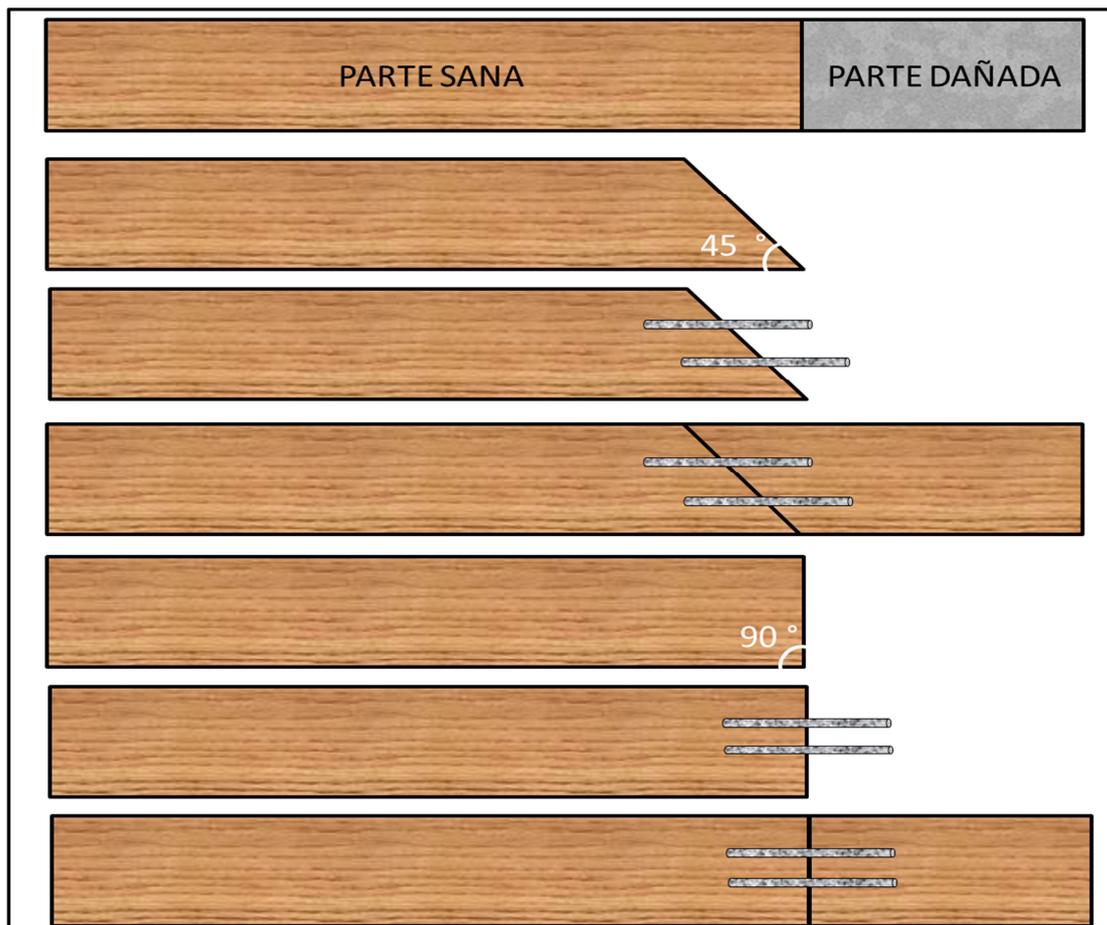


Figura 22. Esquema de la reparación

El proceso comienza con los cortes a 45 y 90 ° para la extracción de la parte dañada.

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

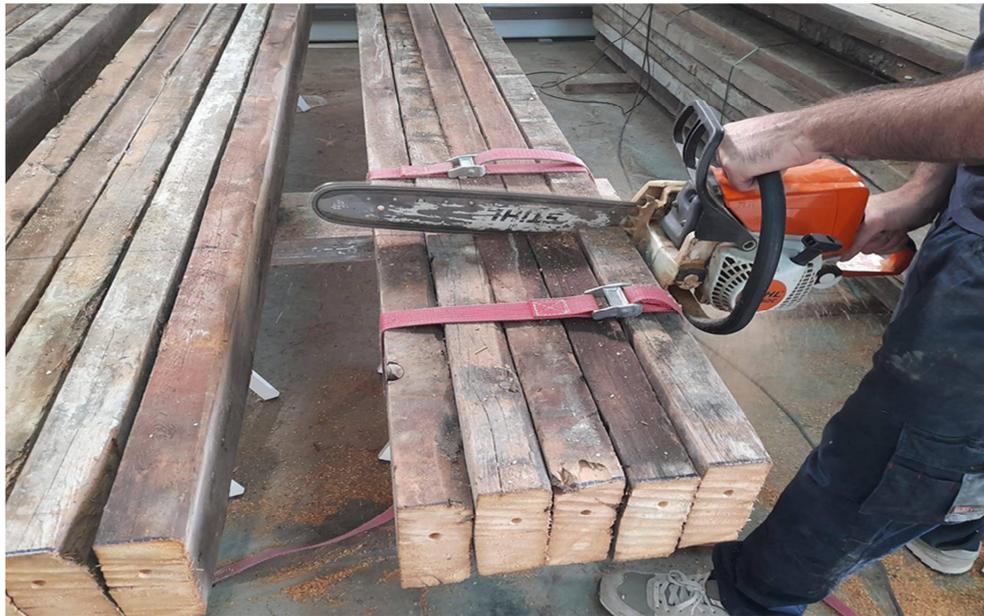


Figura 23. Corte a 90 °

Posteriormente, se procede a realizar dos agujeros con un taladro en cada cara cortada de la viga para poder introducir la varilla de fibra de vidrio de entre 8 y 12 mm. Los agujeros tendrán una profundidad de alrededor de 150 mm y se llevan a cabo con una broca del taladro 1 o 2 mm mayor que el grosor de la varilla.



Figura 24. Taladrado para introducción de las varillas

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera



Figura 25. Detalle del taladro y la marca para centrar los agujeros

A continuación, se cortan las varillas de vidrio.



Figura 26. Corte de la varilla de fibra de vidrio

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

La longitud de las varillas es del doble del agujero quedando la mitad de la varilla en la viga sana y la otra mitad en la prótesis, como se muestra en el esquema siguiente.

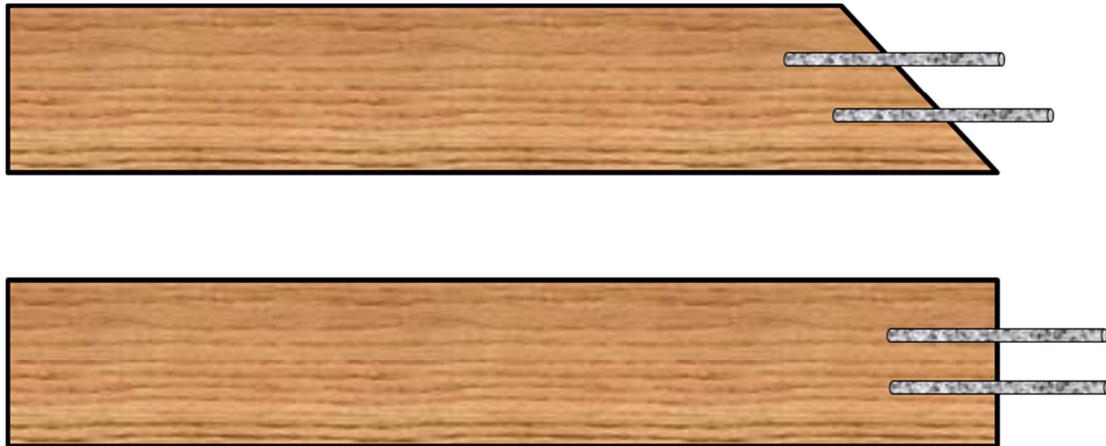


Figura 27. Esquema de la longitud de las varillas

Cuando ya se tienen todos los elementos preparados hay que añadir el adherente para encolar la varilla a la viga y, a su vez, a la prótesis.



Figura 28. Impregnado con el adherente

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera



Figura 29. Impregnado con el adherente

Con la ayuda de un martillo se introducen las varillas en los agujeros que están impregnados con la resina.



Figura 30. Introducción de las varillas

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

En este momento hay que colocar la prótesis en la viga consiguiendo que coincidan ambas partes.



Figura 31. Unión prótesis-viga

Debido a que la resina tiende a expulsar a la prótesis, se crea una placa que sirve temporalmente para sujetar la unión hasta que la resina fragüe.



Figura 32. Placa

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera



Figura 33. Colocación de la placa

La viga mantendrá la placa hasta el fraguado final de la resina, posteriormente, se desatornillará y la viga quedará sin esta placa.

Para conseguir ese fraguado final completo hay que esperar alrededor de una semana.

Finalmente, se observa el corte de 45° en la imagen.

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera



Figura 34. Resultado final del corte de 45 °

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

Este es el corte de 90°.



Figura 35. Resultado final del corte de 90 °

“RESTRUCTMAD” – Investigación y desarrollo de soluciones innovadoras de reparación y refuerzo para estructuras de madera

3.2 VENTAJAS, DESVENTAJAS Y RECOMENDACIONES PARA LA SOLUCIÓN DE REPARACIÓN MEDIANTE PRÓTESIS DE MADERA ENCOLADAS EN LOS ELEMENTOS

VENTAJAS:

- Resistencia muy similar a la del elemento en uso, debido a la utilización de madera antigua.
- Si la prótesis se escoge bien, es casi imposible visualmente saber si el elemento ha sido reparado.

DESVENTAJAS:

- Encontrar madera antigua con buenas características.
- El adherente tiende a expulsar las prótesis y se tiene que sujetar.
- Dificultad de realizar el corte en obra tanto en el elemento en uso como en la prótesis para que coincidan exactamente.

RECOMENDACIONES:

- Colocar la placa que se ha comentado anteriormente para evitar que se separe la prótesis durante el fraguado.
- En los casos en que sea posible en obra conviene realizar el corte de 45°, pues a mayor superficie de contacto hay mayor resistencia.

