

# Estudios previos y análisis estructural

## PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LAS FÁBRICAS DE SILLERÍA Y MAMPOSTERÍA

Las pruebas de caracterización mecánica de las fábricas de sillería y mampostería permitieron analizar la resistencia y el comportamiento estructural de los muros en construcciones históricas. Estas pruebas fueron esenciales para comprender las condiciones físicas y estructurales de los materiales en edificios antiguos, evaluando su capacidad de soportar las cargas a las que estaban sometidos.

Para llevar a cabo estas pruebas, se utilizaron gatos planos calibrados, equipados con doble chapa de acero, con los que se midieron la presión y la deformación en los muros (**foto 1**). Se realizaron cortes en las juntas de mortero entre sillares o mampuestos, donde se insertaron los gatos, empleando tanto dispositivos simples como dobles, según las características del muro (**foto 2**). En los muros de sillares, la prueba con gato plano simple permitió estimar la presión transmitida en el borde del muro, derivada de la carga que se concentraba en el punto de ensayo (**foto 3**). Por otro lado, el ensayo con doble gato plano evaluó la relación presión-deformación y la capacidad resistente del muro (**foto 4**).

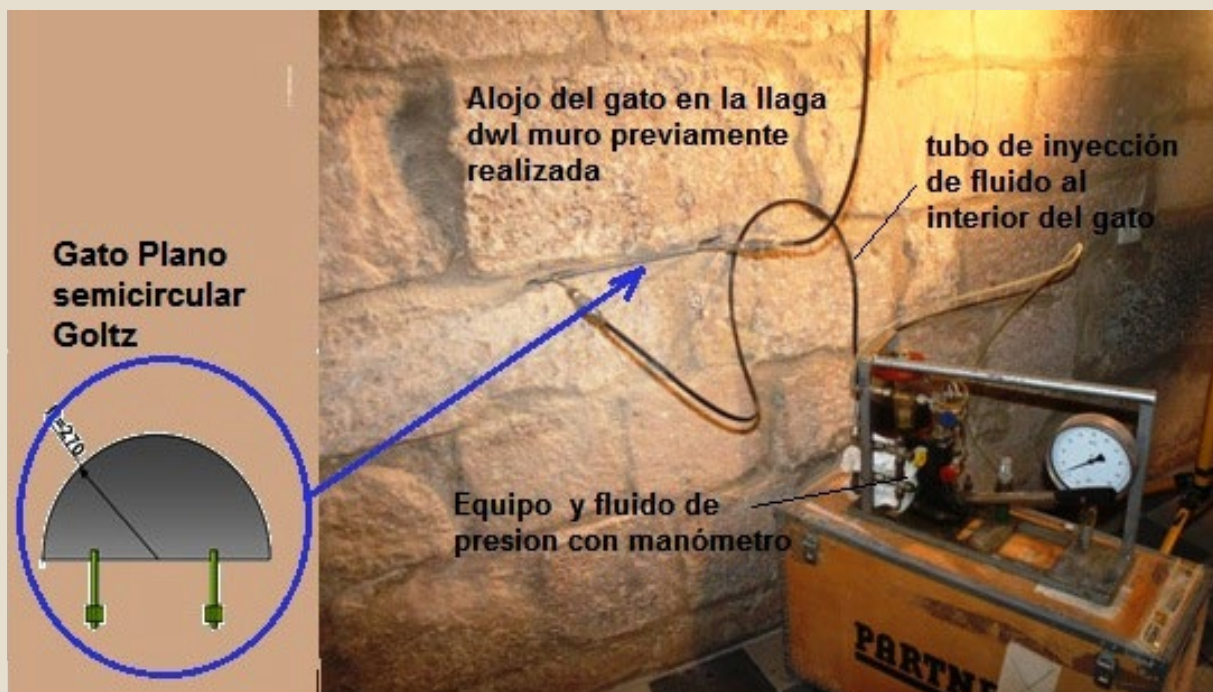


Foto 1.



Foto 2.

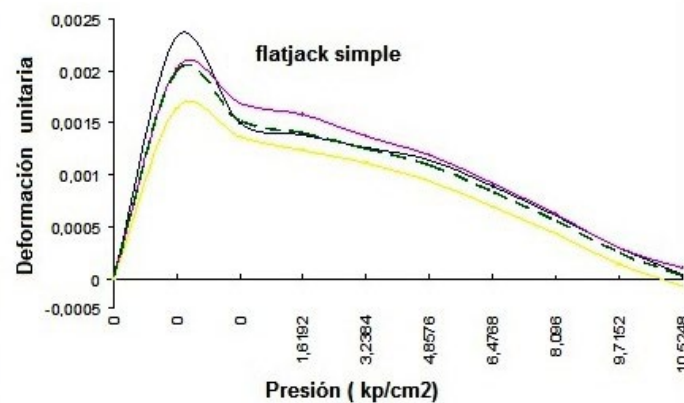


Foto 3.

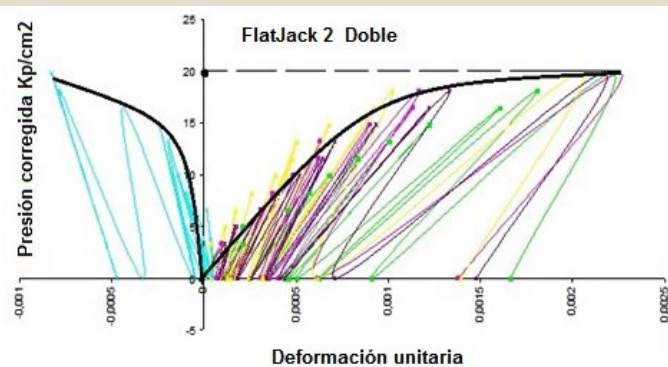


Foto 4.



Además, se extrajeron muestras de piedra de los sillares, mampuestos y arcos para su análisis detallado en laboratorio (**foto 5**), lo que ayudó a obtener información sobre la composición y calidad del material.

Se realizaron levantamientos geométricos mediante el uso de un scanner-láser, con el fin de obtener la geometría global de la construcción y sus componentes (**foto 6**). Asimismo, los sondeos geotécnicos del subsuelo proporcionaron información clave sobre el estado del terreno, permitiendo conocer las condiciones necesarias para asegurar la estabilidad estructural del edificio (**foto 7**).



Foto 5.



Foto 6.

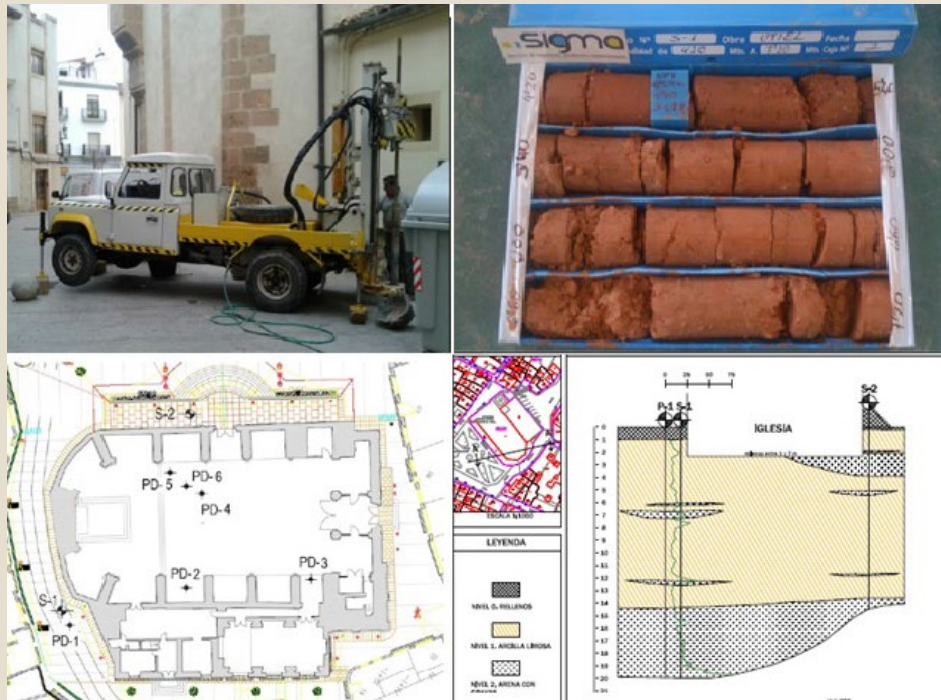


Foto 7.

Durante el estudio de daños estructurales, se identificaron diversas grietas, fisuras y patologías en arcos, bóvedas y contrafuertes, evidenciando desplomes y daños considerables en estas áreas críticas (**fotos 8 y 9**).



Foto 8

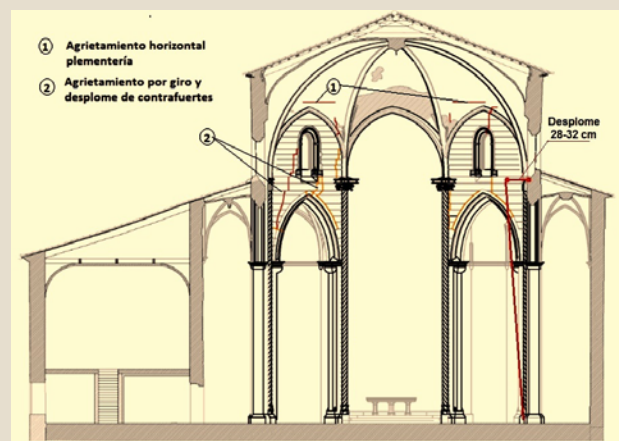


Foto 9.



Para abordar estos problemas, se emplearon modelos computacionales que permitieron analizar con precisión el comportamiento de los contrafuertes y las fuerzas horizontales que ocasionaban los daños (**fotos 10 y 11**). El recalce de los cimientos fue diseñado utilizando micropilotes, basándose en planos y modelos que verificaron el comportamiento estructural tras la intervención (**fotos 12, 13 y 14**). La ejecución de estos recalces con micropilotes fue detallada tanto en los proyectos como en la obra final (**foto 15**), asegurando la restauración y estabilización del edificio.

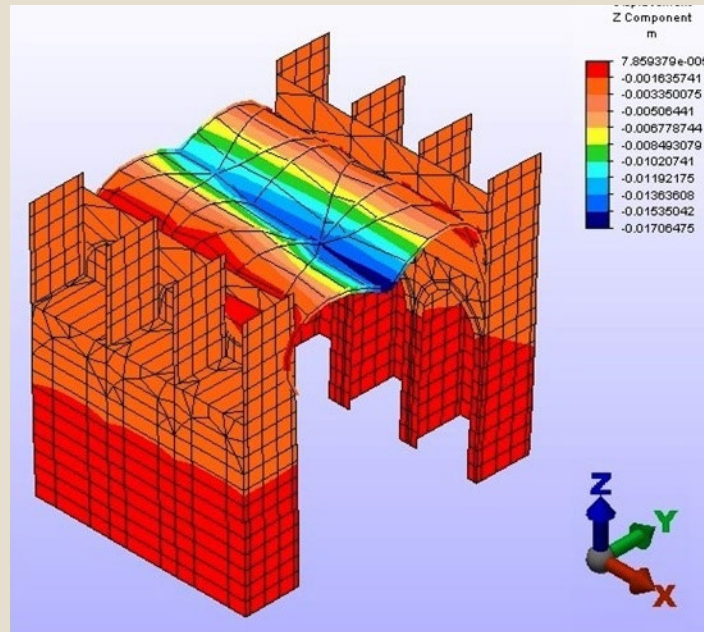


Foto 10.

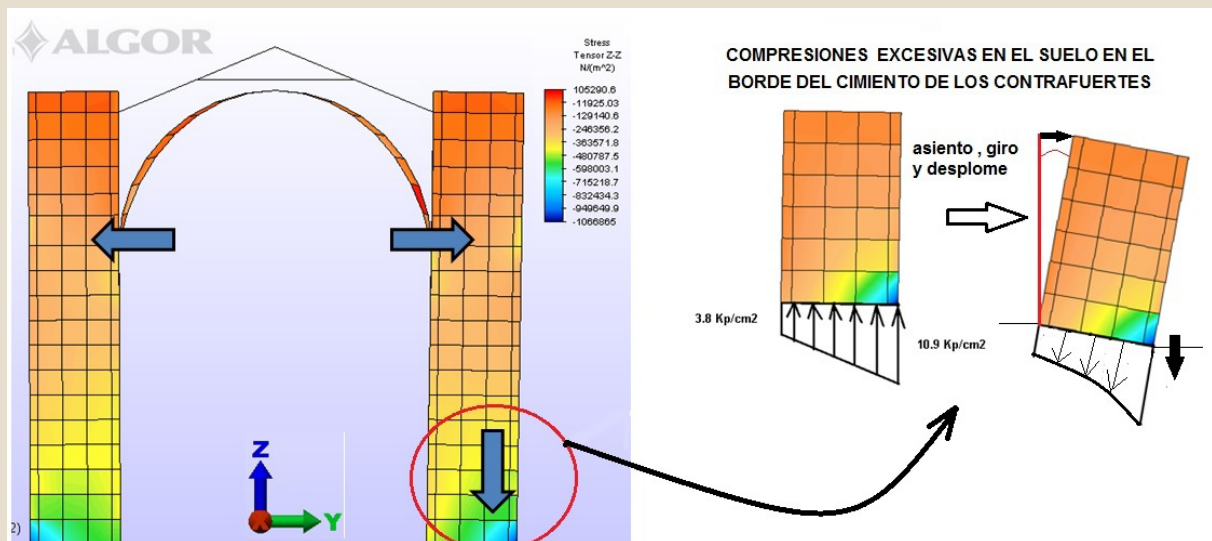
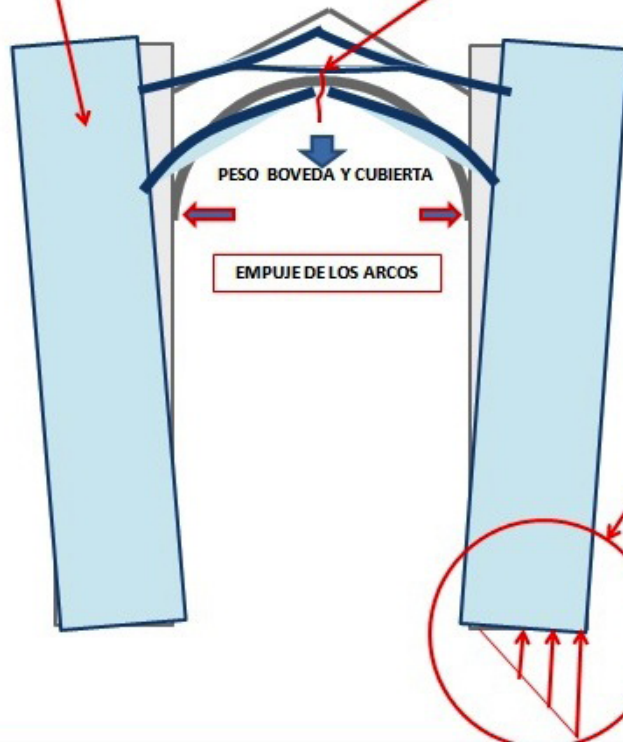


Foto 11.

**DESPLAZAMIENTO Y GIRO  
DE LOS CONTRAFUERTES**

**AGRIETAMIENTO DE LA  
CLAVE DE LA BÓVEDA**



**AUMENTAN LAS  
PRESIONES EN EL  
SUELO AL BORDE  
DE LOS  
CONTRAFUERTES,  
AUMENTANDO EL  
GIRO Y  
REDUCIENDO LA  
CAPACIDAD  
PORTANTE DEL  
CIMIENTO**

Foto 12.

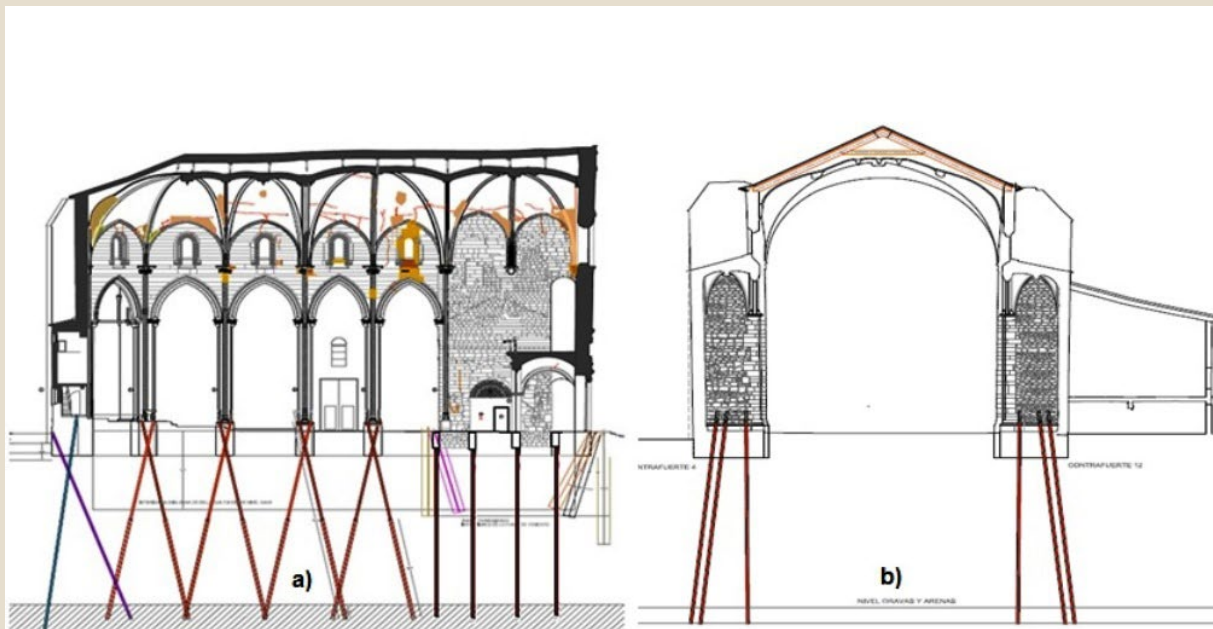


Foto 13.

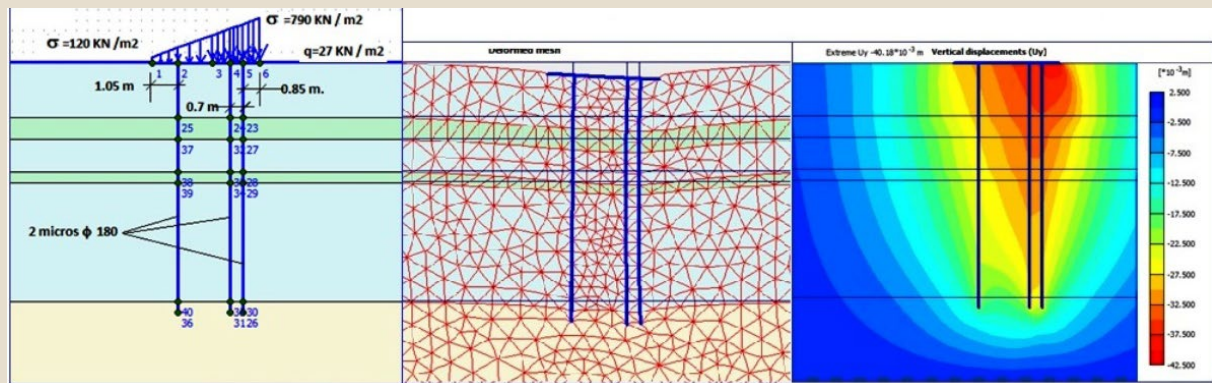


Foto 14.

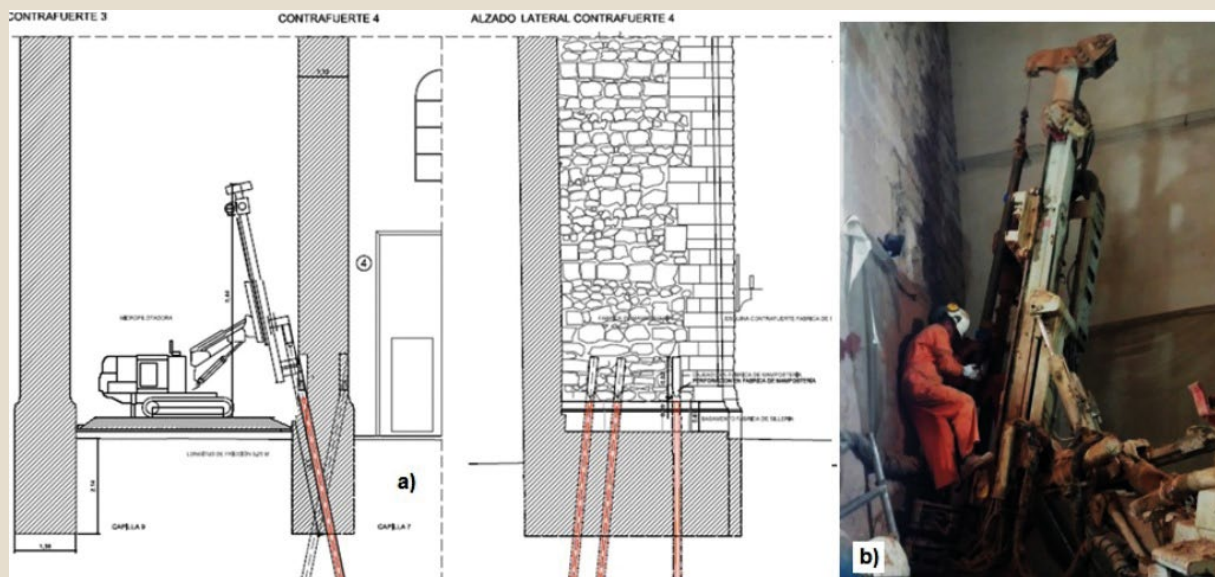


Foto 15.



## INTERVENCIÓN EN LA BÓVEDA. REFUERZO DE ARCOS Y REFUERZO DE LA PLEMENTERÍA DE PIEDRA

(Foto 16) Medios Auxiliares. Andamiaje interior a). Andamiaje exterior y sobrecubierta b). Acceso interior a bóveda para reparación interior de grietas y arcos y acceso exterior a bóveda para refuerzo y consolidación y desmontaje y sustitución de cubierta de madera.

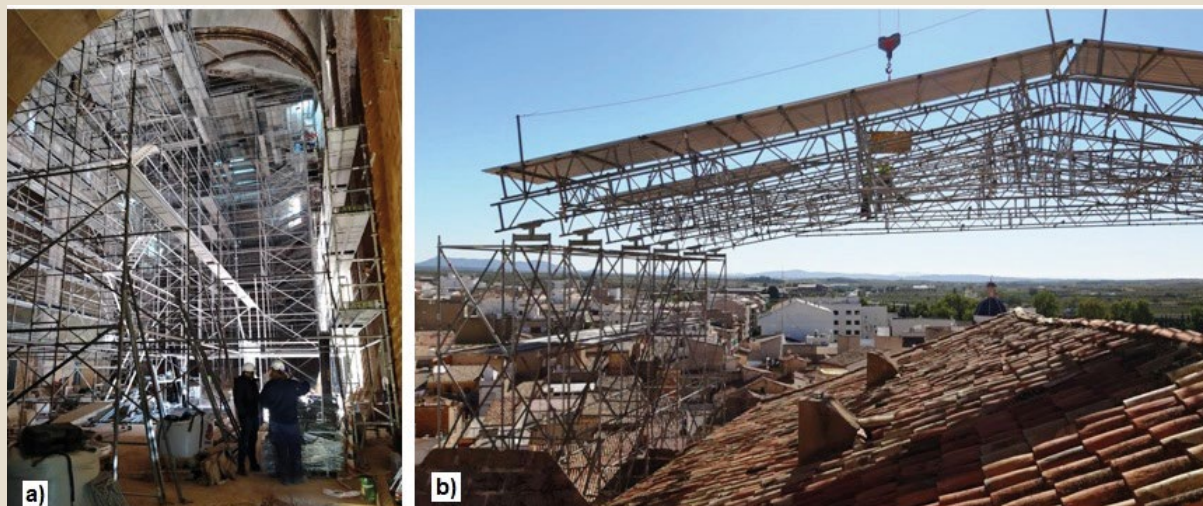


Foto 16.

(Foto 17) Análisis Estructural. Modelización de arcos. En el estado actual y para las cargas previstas no alcanzan suficiente nivel de seguridad.

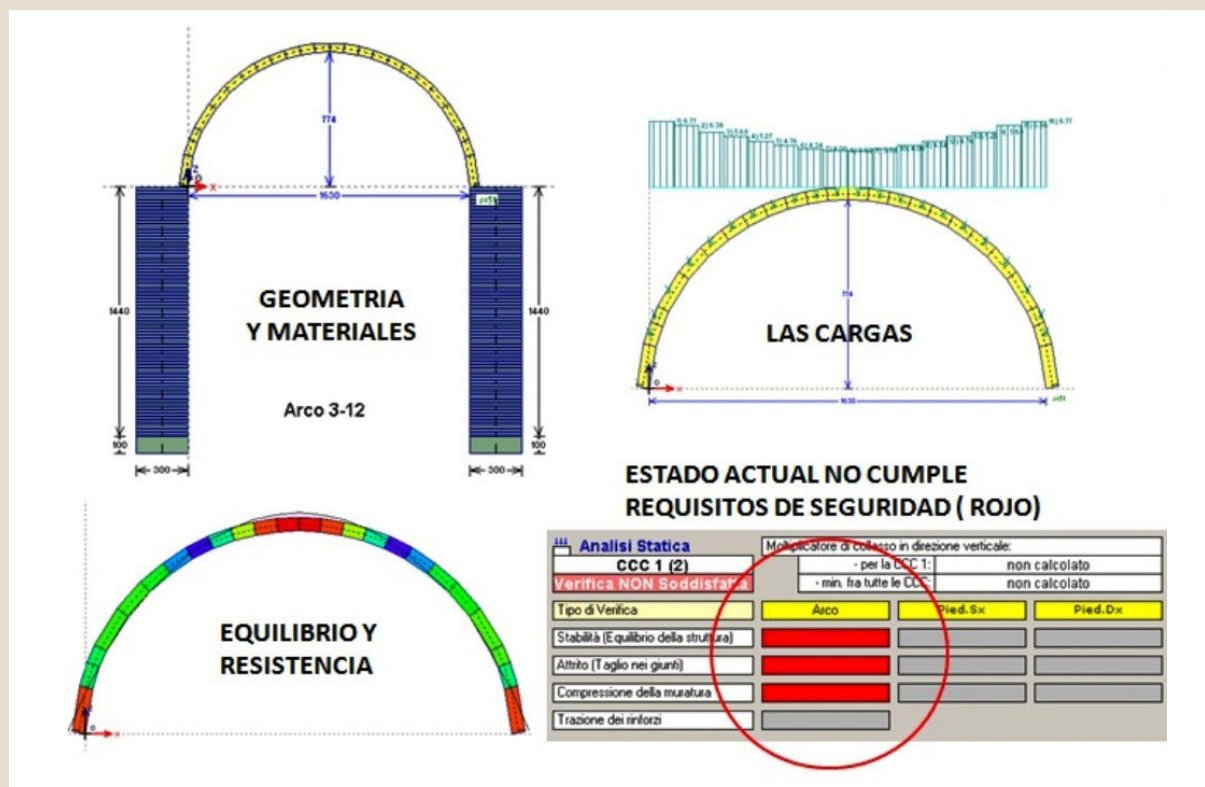


Foto 17.



**(Foto 18)** Análisis Estructural. Modelización de arcos con refuerzo superior de tejido de fibra de carbono. Los arcos reforzados cumplen requisitos de seguridad.

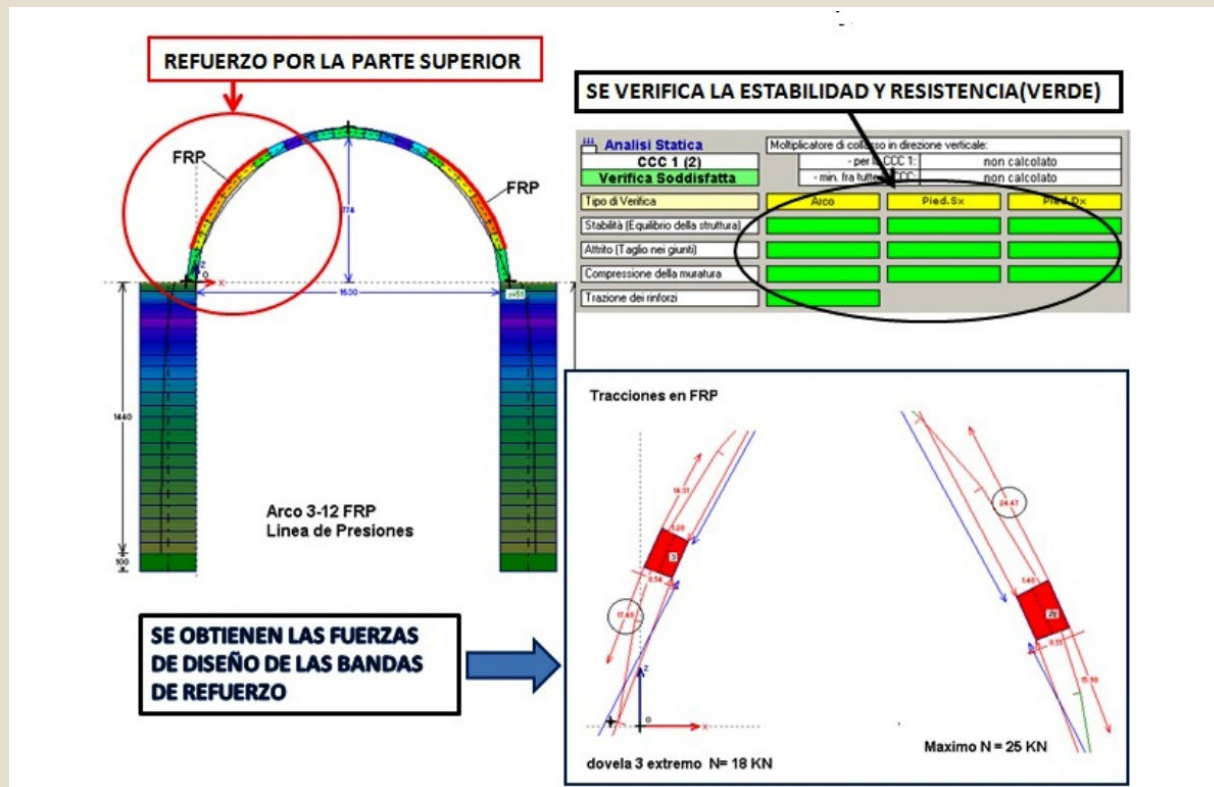


Foto 18.

**(Foto 19)** intervención en arcos y bóveda. refuerzo de arcos con bandas de tejido de fibra de carbono. refuerzo de la plementería con malla de fibra de vidrio de alta resistencia cubierta con una capa delgada de mortero especial de cal natural con puzolanas de uso estructural.

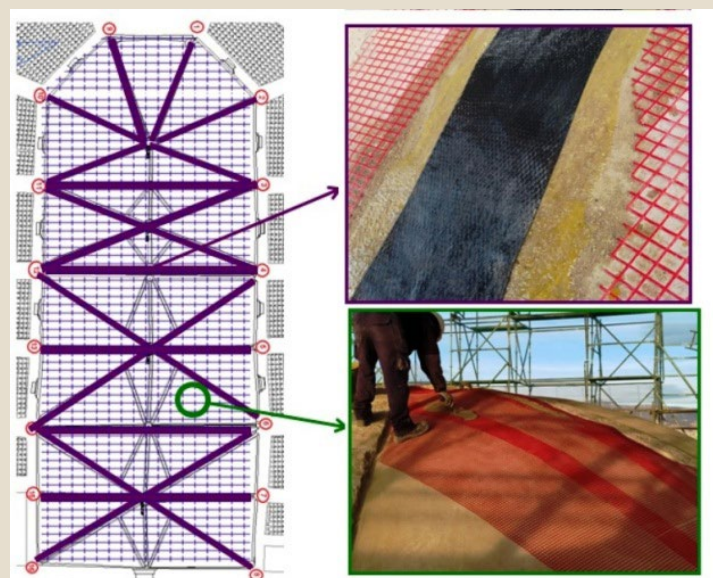


Foto 19.

**(Foto 20)** Refuerzo de plementería a). Refuerzo de arcos con tejido de fibra de carbono.

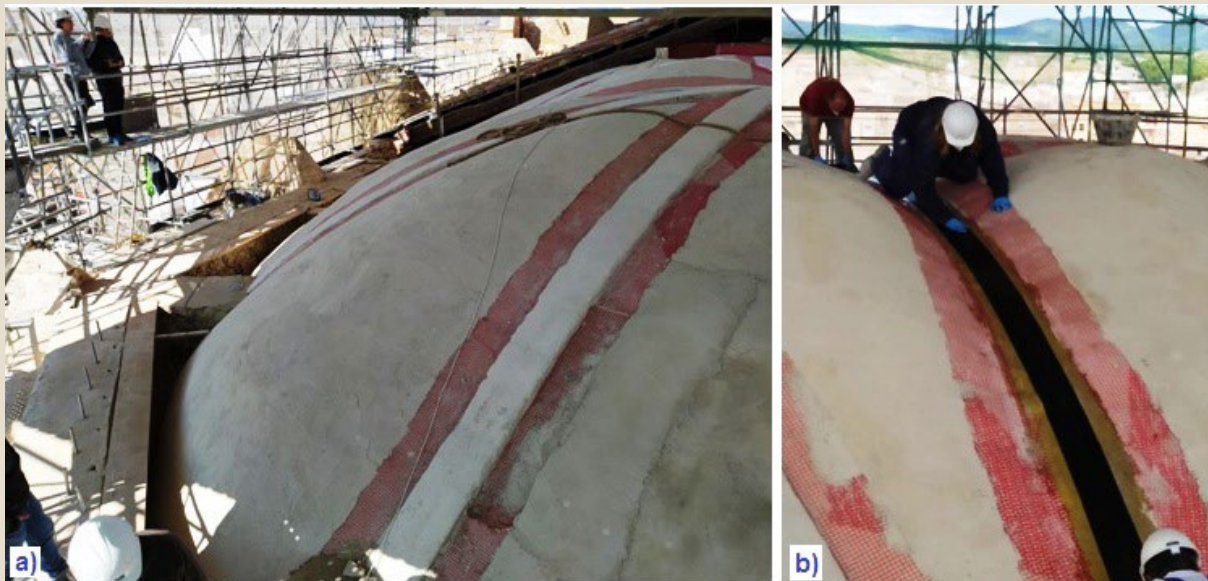


Foto 20.

## **SUSTITUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA EXISTENTE POR UNA NUEVA CUBIERTA DE MADERA LAMINADA ENCOLADA**

**(Foto 21)** Inviabilidad de recuperar cubierta de madera existente. Degradación y deformación excesiva que llega a tocar y cargar sobre la bóveda. No dispone de fiabilidad y por tanto es insegura.



Foto 21.



(Foto 22) Modelo de ordenador para análisis estructural con software avanzado.

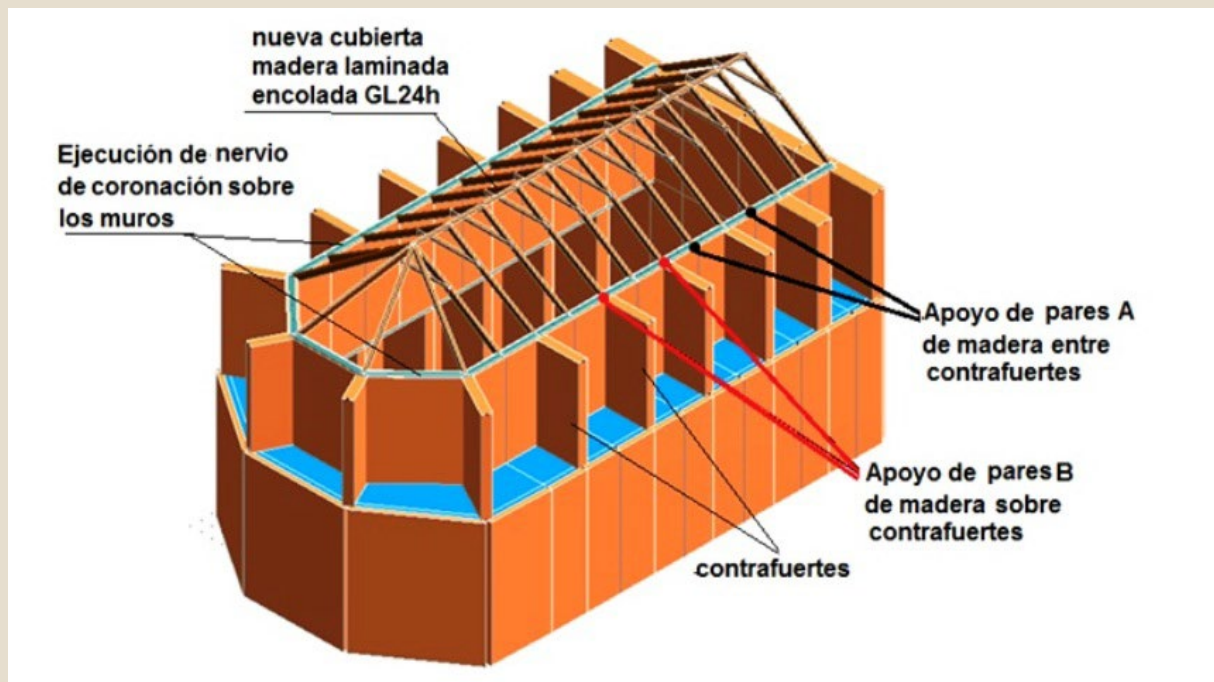


Foto 22.

(Foto 23) El resultado del modelo muestra una deformación muy distinta cada de un par a otro. en la posición A en que la cercha de madera apoya sobre el muro entre contrafuertes , las deformaciones son mayores que en el caso de la posición B que apoyan en los contrafuertes , ya que la rigidez de estos reduce la deformación de la cercha de madera. Esto se aprecia claramente con la vista de la cubierta por su parte superior en el estado actual.

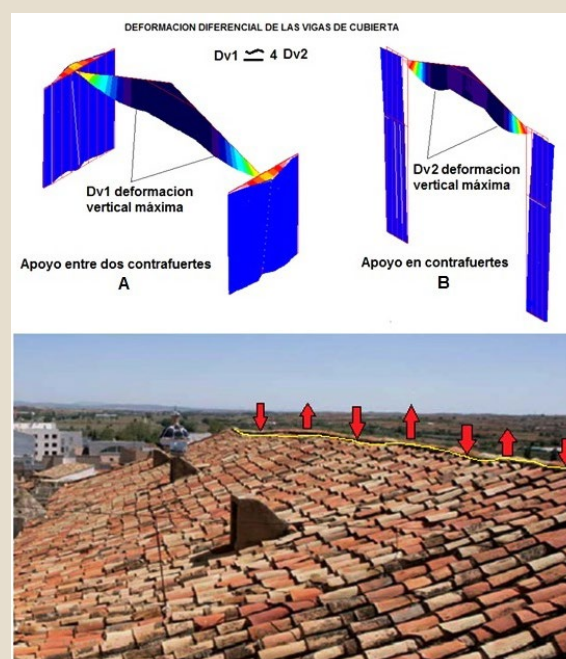


Foto 23.

**(Foto 24)** Nervio de coronación de hormigón armado de 55 x 35 cm anclado a la cabeza de los muros y extendido a todo el perímetro. para igualar deformaciones de las vigas de madera como se indica en foto-23.



Foto 24.

**(Foto 25)** Planta de Diseño de la nueva cubierta de Madera laminada a). Verificación de seguridad estructura b)

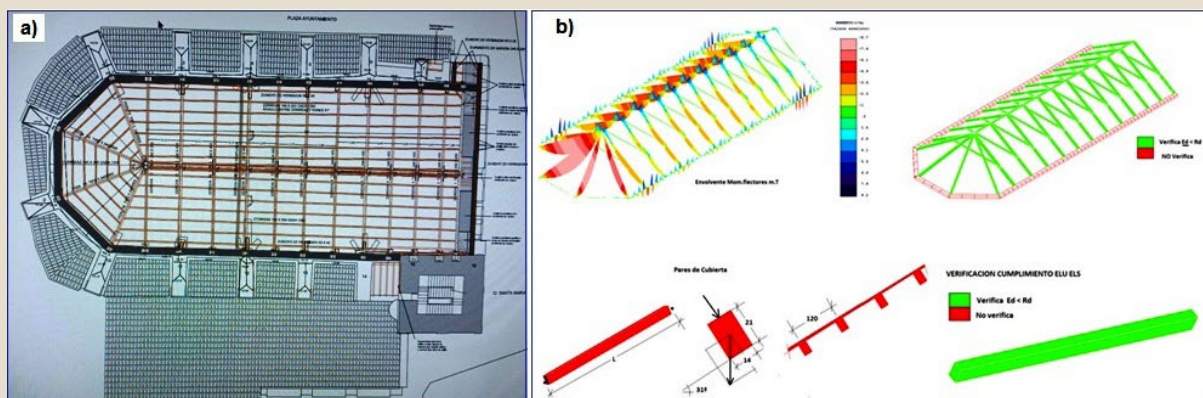


Foto 25.



**(Foto 26)** Vista frontal montaje cercha de madera laminada.

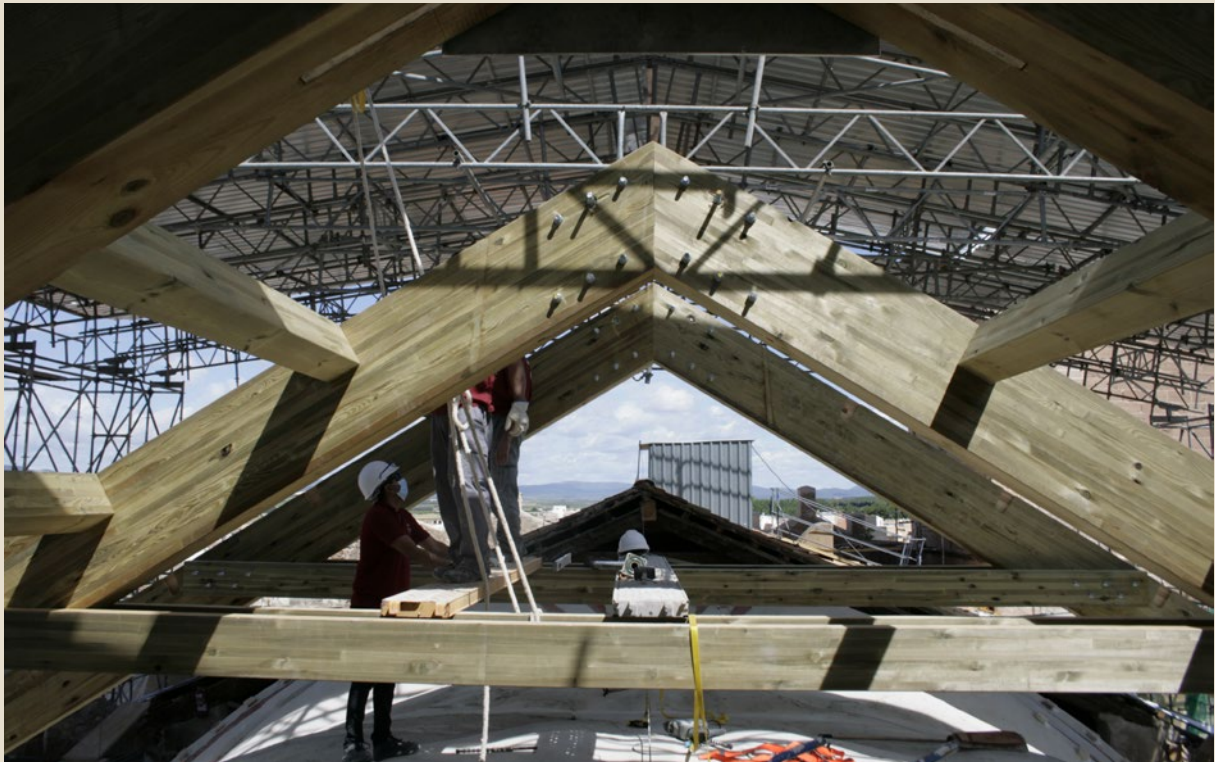


Foto 26.

**(Foto 27)** Vista de nudo especial de cumbrera de acero galvanizado para recogida de vigas del abside.



Foto 27.

**(Foto 28)** Vista de entramado de la nueva cubierta de madera laminada y apoyo metálico de las vigas sobre el nervio perimetral cabeza de muro.



Foto 28.

**(Foto 29)** Preparación antes de izado del nudo de cumbrera de las cerchas con chapa embebida y pernos de acero galvanizado de alta resistencia.



Foto 29.

AUTORES

Gema Casani Gozalbo, Rodrigo Pérez Carcel,  
Javier Yuste Navarro e Ignacio Docavo