

Santa María de Calatayud

Investigación y restauración (2011-2022)

J. Fernando Alegre Arbués y Javier Ibáñez Fernández
(coords. y eds.)



Santa María de Calatayud.

Investigación y restauración

(2011-2022)

J. Fernando Alegre Arbués y Javier Ibáñez Fernández
(coords. y eds.)

Excmo. Ayuntamiento de Calatayud
UNED Calatayud - TRAZA - Gobierno de Aragón
Calatayud-Zaragoza, 2023

Colaboran: Proyecto de Investigación “Los diseños de arquitectura de tradición gótica en la Península Ibérica entre los siglos XVII y XVIII. Inventario y catalogación” (HAR2017-85523-P), Gobierno de Aragón, Universidad de Zaragoza, IPH. Instituto de Patrimonio y Humanidades de la Universidad de Zaragoza, Centro de Estudios Bilbilitanos, Diócesis de Tarazona.

1ª Edición 2023

© de la edición: Excmo. Ayuntamiento de Calatayud, UNED Calatayud, TRAZA. Grupo de Investigación en Arte Medieval y Moderno en Aragón del Gobierno de Aragón (H33-23R).

Los derechos de las imágenes corresponden a las instituciones y a los particulares mencionados en los pies de cada una de ellas

ISBN: 978-84-09-55141-5

Depósito Legal: Z 1932-2023

Cubierta: Detalle de la sección N-S de Santa María de Calatayud [J. Fernando Alegre Arbués (arquitecto), Manuel Pedruelo (delineación), GRUCONTEC].

Maqueta e Imprime: Cometa, S.A.

Este libro es para Gadea

Índice

A modo de introducción: la restauración de la colegiata de Santa María de Calatayud. Encuadre interdisciplinar , J. Fernando Alegre Arbués	9
Santa María de Calatayud en el contexto de la arqueología bilbilitana , José Francisco Casabona Sebastián, Judit Paraíso Sánchez, y José Ignacio Royo Guillén.....	49
La colegiata de Santa María de Calatayud en los periodos medieval y moderno , J. Fernando Alegre Arbués y Javier Ibáñez Fernández.....	93
Nueva luz sobre Gaspar de Villaverde, Gaspar de Santibáñez Salcedo y Ayala (doc. 1593-1622, † 1622) , Javier Ibáñez Fernández y Vanessa Nebra Camacho	159
Santa María de Calatayud y el “falso salón” en el contexto arquitectónico aragonés de los siglos XVII y XVIII , Jorge Martín Marco	387
La restauración de la arquitectura de Santa María de Calatayud , J. Fernando Alegre Arbués	409
Los problemas estructurales de la colegiata de Santa María de Calatayud. Años 2010-2022 , Daniel Orte Ruiz	437
La restauración de la decoración mural y escultórica en Santa María de Calatayud , Raquel Marco Martín	475
Fuentes y bibliografía	501
Anexo gráfico en cuaderno adjunto	

Los problemas estructurales de la colegiata de Santa María de Calatayud. Años 2010-2022

Daniel ORTE RUIZ*

Introducción

La colegiata de Santa María la Mayor de Calatayud presentaba en el verano de 2010 un estado esperanzador en cuanto a su conservación. El Gobierno de Aragón trabajaba en la restauración de la portada y el Ministerio de Cultura ponía en marcha un expediente para la restauración del retablo mayor. Las previsiones del Plan director, redactado en 1999, incluían actuaciones de restauración interior, pero consideraban al edificio seguro desde el punto de vista estructural, ya que sus lesiones y deformaciones se entendían como resultado de movimientos antiguos y ya estabilizados. No obstante, el desprendimiento de un fragmento del arco toral en la embocadura de la capilla mayor, además de la comprensible alarma, puesto que presentaba un volumen considerable, despertó razonables dudas acerca de esa supuesta seguridad estructural [fig. 1]. El Obispado de Tarazona, titular del edificio, solicitó nuestra asistencia técnica y un primer diagnóstico, que interesaba de forma urgente, sobre todo para decidir, si procedía, el cierre al culto del templo y las primeras medidas a adoptar.

Tras unas primeras visitas y la observación de los cuadros de lesiones que presentaba el edificio, recomendamos, en efecto, el cierre al público del recinto, dado que podía comprobarse una correspondencia entre esos cuadros de lesiones, las deformaciones observables y el episodio acaecido, que se produjo el día 10 de agosto, y a partir de ese momento asumimos el objetivo de proponer y encauzar los trabajos necesarios para garantizar la seguridad estructural, reparar los daños y la integridad del edificio que debía ser transmitido al futuro. El Ayuntamiento de Calatayud dispuso un andamio que permitía una observación cercana de la zona desprendida y el alcance y dimensión real de las lesiones existentes. Desde arriba y desde cerca, se hacía evidente que un diagnóstico cabal necesitaría cotejar fuentes históricas, cartografía de lesiones, planimetría precisa con deformaciones, un buen conocimiento de las intervenciones llevadas a cabo con anterioridad, en los siglos XIX y XX, un análisis constructivo muy preciso, una instrumentación, que nos informase de los movimientos actuales en tiempo real y una aproximación al comportamiento estructural de la fábrica en su estado presente, en base a un modelo de análisis y de cálculo que nos

* Arquitecto técnico e ingeniero civil. Dirección de ejecución de las obras.

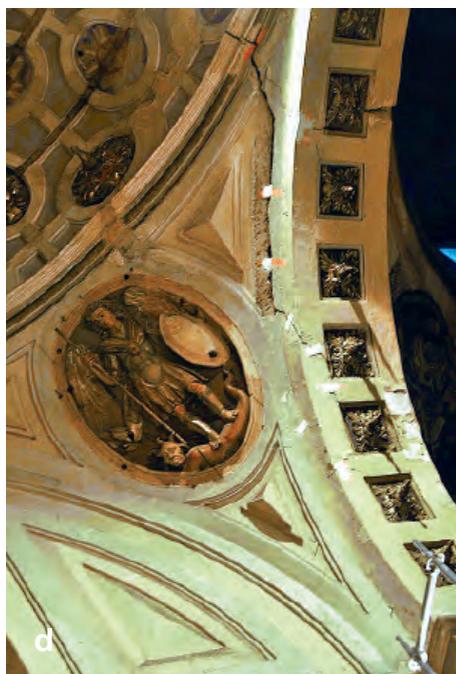
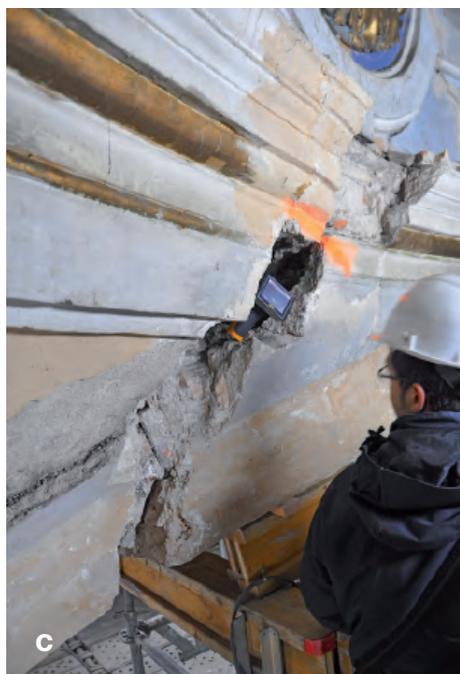


Fig. 1. Estado inicial de la colegiata y durante los primeros trabajos de reparación del arco toral de la capilla mayor.

resultase creíble, es decir, que respondiese a la realidad material de unas estructuras de fábrica y su mecánica de arcos y bóvedas, que, además, habían evolucionado y habían sido transformadas a través de un largo periodo histórico.

Tal cosa fue posible a partir de la positiva y rápida respuesta de las instituciones, que confluyeron en un arranque decidido de los trabajos más urgentes. El Gobierno de Aragón encargó la revisión-actualización del Plan director al equipo dirigido por J. Fernando Alegre, que comenzó sistematizando toda la información histórica disponible, incluyendo, por supuesto, las decisivas restauraciones contemporáneas y confrontándola con el análisis de la realidad material presente en el edificio, lo que implicaba nuevas planimetrías más precisas —no se disponía ni de una sección, ni de planos de bajocubiertas del edificio— que se confeccionaron con apoyo topográfico. Se incorporó también un primer estudio geotécnico que proporcionó datos reveladores sobre los límites de resistencia del terreno de apoyo.

El Ministerio de Cultura, por su parte, decidió posponer la restauración del retablo, pero encargó un estudio previo que incluía monitorización de algunas fisuras que considerábamos significativas, en un primer periodo anual de seguimiento de los movimientos en el crucero. El resultado demostraba la existencia de deformaciones acumuladas, es decir, un proceso vivo en el que el problema se incrementaba y conducía a nuevos episodios conducentes a la ruina, confirmando nuestras primeras impresiones.

Respecto a nuestra primera aproximación al análisis de estas estructuras, que, además de reflejar su forma de trabajo y su seguridad, nos ayudase a proponer soluciones compatibles y eficaces, optamos por la estática gráfica, un sistema al que podíamos acceder desde nuestras capacidades, que considerábamos especialmente adecuado a este tipo de estructuras. El sistema ofrecía, además, unas imágenes muy intuitivas y sugerentes, en las que podíamos situar otros datos que la documentación histórica y el examen, exhaustivo de cada rincón o escondrijo del edificio nos iba aportando.

Trabajos iniciales. Reparación del arco toral este

La primera intervención estructural que se acometió, en base a las determinaciones del Plan director, en el templo colegial se centró en el arco toral este, allí donde se había producido el desprendimiento [fig. 2]. Ciertamente, la lesión en la clave, de donde procedía el material desprendido —en parte, una antigua reparación— aparecía como parte de un cuadro muy complejo y extenso, que afectaba tanto al arranque de la cúpula como a la bóveda de la capilla mayor, con evidencias de reparaciones decimonónicas —lañas de hierro— como de un zunchado y encamisado de hormigón, documentado en 1968-1969. Resultaba evidente que una cierta consolidación de este arco y la zona de arranque del tambor de la cúpula que gravita sobre él no garantizaría por sí la estabilidad del crucero, pero la continuidad y un mayor monolitismo mejorarían la capacidad de trabajo de este elemento, devolviéndole en buena medida sus condiciones iniciales. Por otra parte, este primer trabajo constituía un ensayo para



Fig. 2. Profundidad de las grietas y técnica de grapado mediante varillas de fibra de vidrio.

orientar el proceso a seguir con el resto. Para ello se pusieron en obra las siguientes técnicas:

- Realización de cosidos estáticos mediante varilla de fibra de vidrio. Esta técnica consiste en reforzar el arco mediante la apertura de taladros a los lados de las masas de ladrillo que quedan a ambos lados de la grieta, y la introducción en ellos de varillas corrugadas de fibra de vidrio que quedan adheridas y ancladas a la fábrica mediante resina bicomponente. Otro tipo de cosido se realiza mediante grapas, realizadas con pletinas y varillas de fibra de vidrio, aplicándose, en cada caso, según las condiciones de la geometría del objeto o de la accesibilidad de las zonas en que se actúa. Esto permite aportar una cierta resistencia a la tracción en las zonas de la fábrica que, evidentemente, la habían solicitado. Si esas tracciones son suficientemente pequeñas, podrán ser absorbidas por la masa construida.
- Consolidación de las lagunas y grietas en el arco. Se completa mediante la inyección de una lechada consolidante. El material en las grietas, una vez selladas con yeso y, gracias a su fluidez, penetra hasta una apreciable profundidad por las fisuras y a lo largo de las superficies de rotura, y se endurece con el fraguado para aportar resistencia a compresión devolviendo la continuidad a la fábrica. Con el fin de evitar escapes y verificar el alcance de las inyecciones, que se realizan a una presión controlada o por simple gravedad, se disponen tubos-testigo que informan al restaurador sobre el proceso. El material empleado en nuestro caso fue cal hidráulica con cargas de polvo de mármol y puzolana. Lo que se exige es compatibilidad higrotérmica con los materiales originales de la fábrica, ausencia de reactividad química y baja o nula retracción.
- Reconstrucción de grandes lagunas. Las grandes faltas, casi siempre vacíos causados por el desplazamiento o separación del material original, se reparan, cuando son aparentes y accesibles, mediante trabajos de albañilería tradicional, semejante al sistema constructivo original. En nuestro caso, ladrillo recibido con yeso.

Esta primera intervención en el arco toral fue un primer paso en el proceso de restauración de la Colegiata de Santa María de Calatayud. Nos ayudó a establecer un plan de trabajo para las siguientes fases de la restauración, y mejoró notablemente el conocimiento íntimo de la fábrica existente y su deriva histórica, en orden a planificar su completa restauración [fig. 3].

Diagnóstico y metodología

Al comienzo del proceso, la lectura interpretativa de los cuadros de lesiones, ciertamente espectaculares, no resultaba sencilla. Su cartografía solamente podía mostrar una especie de foto fija de movimientos ocurridos en diferentes momentos de, al menos, cuatrocientos años, sin que fuera posible en muchos casos establecer una cronología relativa. La secuencia histórica necesitaba, por lo tanto, del conocimiento de la propia historia constructiva del edificio, algo que, ciertamente, no era conocido



Fig. 3. Estado del arco toral Oeste tras la reparación. Consolidación con fabrica de ladrillo inyección de lechadas y recubrimiento final.

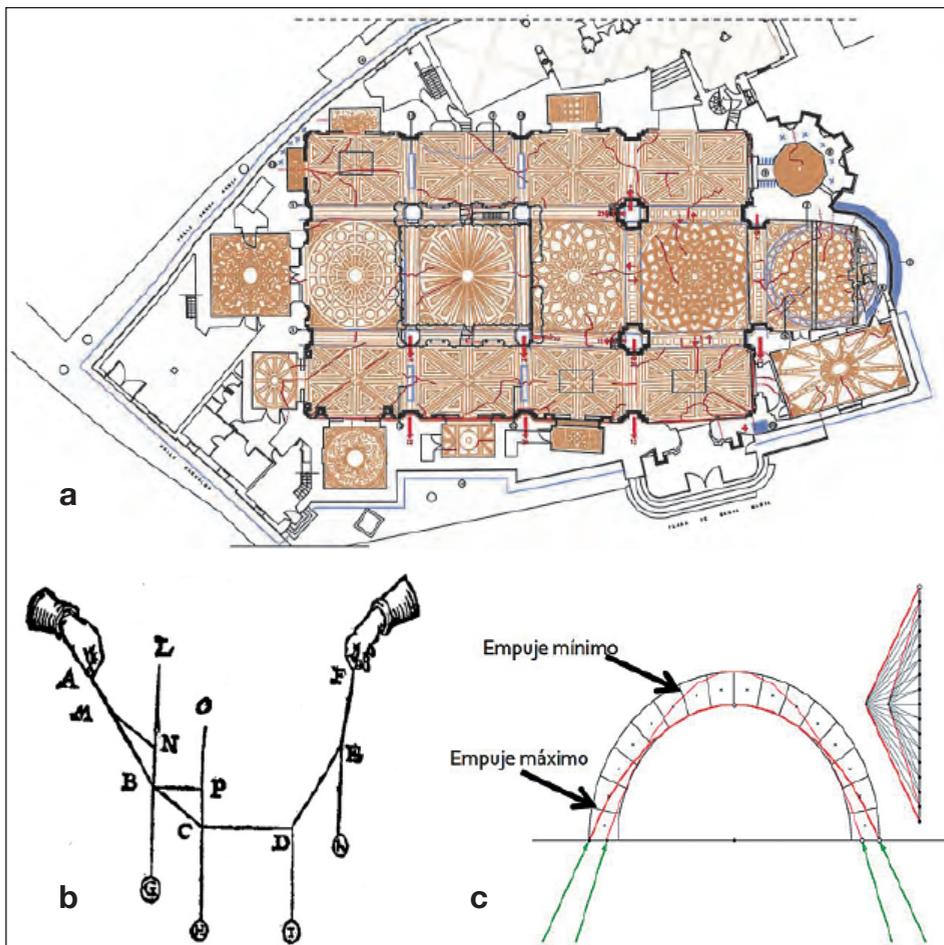


Fig. 4. Trabajos de diagnóstico y análisis estructural: a) Mapeo de grietas; b) Curva funicular que adopta una cuerda cuando se aplican cargas sobre ella; c) Línea de presiones máxima y mínima dentro del arco.

sino en forma fragmentaria. Con todo, el conocimiento de la realidad constructiva del edificio proporcionó datos y sugerencias sumamente útiles a la hora de trazar los objetivos del proceso de restauración estructural, que no era otro que llegar a formular un plan de intervención.

Se trazó una metodología para el trabajo de proyecto, que partió de la sistematización de la información reunida y cruzada sobre el edificio y sus estructuras, en la que la documentación de las intervenciones históricas, muy reveladoras sobre el origen real de algunos de los problemas recientes, así como el grafiado de la cronología de las fábricas, que hizo evidente el proceso de añadidos, recrecidos, ampliaciones y reaprovechamientos de fábricas de diferente época, rigidez y naturaleza constructiva.

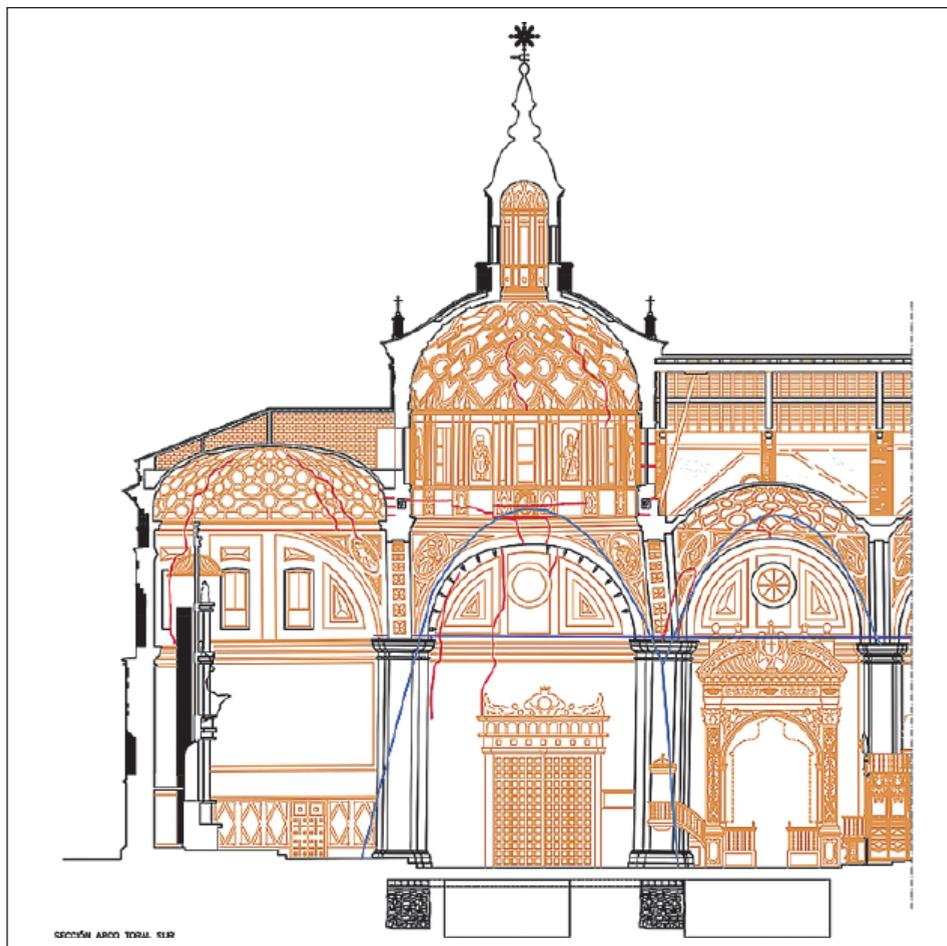


Fig. 5. Línea de presiones en la colegiata de Santa María en uno de los arcos torales.

Paralelamente, se llevó a cabo un análisis de la estructura, en el que se recurrió a la estática gráfica, como se ha mencionado. Este análisis permitió identificar con suficiente precisión los problemas estructurales del edificio, singularizando los elementos más comprometidos, que aconsejaban, como en el caso de las zapatas de los pilares torales, alguna comprobación específica, por sospecharse muy próximos al colapso y señalar, por lo tanto, prioridades y precauciones en la actuación a proyectar [fig. 4].

Este conocimiento se consideró suficiente, en principio, para establecer una cierta estrategia en la actuación, que debería responder también a una óptima utilización de recursos y a consideraciones de organización de la obra, muy condicionada, evidentemente, por la reducción de los accesos a la portada renacentista y la necesidad de mantener *in situ* la mayor parte del formidable patrimonio mueble de la colegiata.

En forma resumida, la metodología utilizada en los trabajos de restauración de la colegiata de Santa María incluyó la sistematización de la información, el análisis técnico de la estructura y de las fábricas y la realización de trabajos de reparación y consolidación, de acuerdo con un plan establecido.

Análisis Estructural

El citado método de análisis estructural mediante la estática gráfica [fig. 5] consiste, en primer lugar, en la suposición de que las estructuras de fábrica cumplen 3 condiciones;

- Resistencia infinita a compresión.
- Resistencia nula a tracción.
- La estructura no se desplaza.

Estos axiomas deben entenderse con ciertas cautelas, pero responden muy bien a lo que sabemos de las fábricas históricas: no son elásticas y trabajan básicamente a compresión. En consecuencia, rara vez plantearán problemas de resistencia, relacionables con la esbeltez de los elementos constructivos, sino de estabilidad, más relacionada con la geometría del sistema. Miles de años de Arquitectura y fascinantes edificios relativamente bien conservados dan fe de su éxito estructural.

A partir de ello, se trata de establecer las condiciones de equilibrio, en base a estos dos principios, que definen los estados-límite de estabilidad:

- “Si encontramos una línea de presiones en equilibrio con las cargas exteriores, y que sea interior al contorno de las piezas, la estructura será estable para esas cargas que son inferiores a las de colapso” (Teorema de límite inferior).
- “Si encontramos una línea de presiones en equilibrio, contenida dentro del contorno de las piezas y que produce rótulas(sea tangente) necesarias para convertir la estructura en un mecanismo, la carga asociada es la de colapso”. (Teorema de límite superior).

En nuestro caso, este método nos permitió dibujar la línea de presiones de los arcos, lugar geométrico de los centros de empuje de cada una de las piezas virtuales de la estructura en las que se divide y esta línea es la curva antifunicular, con la que nos ha familiarizado la ingeniería del siglo XIX y la arquitectura de Gaudí. Esta línea tiene infinitas posibilidades de moverse dentro de los arcos, que representarían tantos estados de equilibrio viable, siendo de interés la línea de empuje máximo del arco y la línea de empuje mínimo.

Tal y como indica su nombre, las líneas de presiones nos dan, como resultante, las fuerzas aplicadas en los contrarrestos de los arcos. Estas fuerzas transmitidas por arcos y bóvedas al resto de la estructura, presentan componentes horizontales que llamamos empujes.

Cuando la estructura se mueve desplazando los estribos hacia el interior el arco adopta la línea de empuje máximo. Cuando estos empujes no están correctamente contrarrestados, la estructura no es estable y se mueve desplazando los estribos hacia el exterior el arco adopta la línea de empuje mínimo. Es el caso del crucero de Santa María, en que los arcos interiores se desplazaban hacia afuera y los de las naves laterales hacia adentro. Estudiando esta sección transversal, se pudo estimar el empuje no compensado que se transmitía a través de los pilares del crucero.

Con este método de análisis fue posible determinar las tensiones de trabajo de los cimientos, dado que conocíamos los pesos propios de la estructura y sus excentricidades, y comprobar que, dada la cimentación existente, el terreno de soporte estaba trabajando a tensión de hundimiento, produciendo el giro del cimiento y, en consecuencia, el movimiento del todo el sistema del crucero, pilares, arcos y bóveda.

Si, a partir de este esquema, localizamos correctamente las grietas observadas en este sistema estructural, las comprobamos compatibles con la deformación de la cimentación, a saber, grietas laterales en la base del del tambor de la cúpula, grieta en la clave del arco toral, grietas en el arranque del arco por su trasdós y giros de las zapatas de cimentación. Cada una de estas grietas, constituye una rótula para el sistema del arco, es decir, una articulación, un punto de giro. Dicho sistema ha llegado a desarrollar cuatro rótulas, el mecanismo de colapso completo de la estructura. Todo indicaba que el análisis estructural estaba confirmando las impresiones iniciales, pero ya comenzaba a ser posible una cuantificación del problema y un diseño de soluciones.

Obras urgentes de estabilización en el crucero

Conocido el problema de riesgo estructural del crucero, se comenzaron los primeros trabajos de estabilización. La actuación comenzó con la colocación de cuatro cimbras, correspondientes a los cuatro arcos torales, capaces de apear las cargas de la pesada cúpula hasta el momento en que se pudiera reparar. Las cargas a transmitir por estas cimbras eran del orden de las 20tn/m², lo que requería la realización de una cimentación empotrada en el terreno, ya que el simple apoyo superficial no resultaría seguro, desconociéndose la naturaleza de los rellenos antrópicos y las subestructuras que podrían existir en el área de afección. En ese momento, se desconocía la información que, más adelante, proporcionaría el georradar sobre la existencia de varias criptas por lo que, cuando éstas aparecieron en la excavación, hubo de procederse a su colmatado. Los trabajos arqueológicos alcanzaron casi toda la extensión del crucero e incluyeron la limpieza y exhumación de restos óseos y la colocación de una capa separadora sobre las estructuras de diferente cronología que entonces fueron localizadas. En una de las criptas apareció un grafiti, que se extrajo mediante la técnica de *strappo*.

Se procedió al relleno de las criptas y a la realización de los cimientos corridos, que se habían concebido como una futura cadena de atado entre las diferentes cimentaciones [figs. 6, 7 y 8]. Al disponer de monitorización de las estructuras, podíamos conocer, con precisión y en tiempo real, los mínimos movimientos experimentados

por la estructura, resultando sorprendente comprobar que, en esta primera operación de llenado, la estructura recuperó 1cm de las deformaciones que tenía. La colmatación de algunas criptas, todas de cronología moderna, aseguró también el correcto grado de empotramiento de las cimentaciones, puestas en riesgo por los vacíos practicados entre ellas.

El tipo de cimbra que se diseñó fue ideada como “pasiva”, es decir no debía recibir cargas, a no ser que los propios movimientos estructurales lo solicitasen. En una estructura formada por arcos, la transmisión de cargas a cimientos no es la misma que una estructura adintelada, puesto que genera empujes, cosa que unas simples cimbras situadas debajo del arco no pueden controlar completamente. Además, la situación de equilibrio hacía temer que cualquier variación del estado de cargas existente pudiera producir nuevos movimientos que, de alguna manera, empeorasen el ya precario estado de equilibrio de la estructura.

Cuando se terminaron los trabajos de esta primera intervención, ya disponíamos de un diagnóstico convincente del comportamiento del sistema del crucero, la monitorización de la estructura y la obra cimbrada para la realización de los posteriores trabajos de consolidación y estabilización de la estructura, en condiciones de seguridad [figs. 9 y 10].

Obras de consolidación estructural

El origen de las patologías estructurales del crucero de la colegiata tenía relación, como hemos visto, con la insuficiente capacidad del suelo soporte para recibir los esfuerzos de la cimentación, que se iba equilibrando mediante el giro y con la progresión de todo un cuadro de grietas de acompañamiento en los pilares y arcos del sistema estructural que hemos identificado como rótulas. Al aumentar el desplome de los pilares, sumamente robustos y monolíticos, las cargas bajaban cada vez más descendidas por lo que nuevamente se empeoraba la situación de equilibrio suelo-cimentación y aparecían nuevos movimientos que cíclicamente arrastraban acumulación. Esta acumulación cíclica de movimientos en la estructura se había monitorizado y se había comprobado que la colegiata estaba experimentando una deformación anual acumulada de 1mm, por lo que el sistema progresaba hacia la ruina.

Desde luego, con ser la causa principal de la desestabilización, no se trataba de la única, en absoluto. Deben considerarse otros movimientos, vinculados con la propia historia constructiva del templo, que conviene describir, y no orillar, para entender el proceso en toda su complejidad. En primer lugar, era bien conocido el aprovechamiento de las estructuras de la cabecera del templo medieval y renacentista —más adelante pudimos verificar que, en realidad, eran bastantes más las fábricas medievales conservadas, incluyendo todo el muro norte, frontero con el claustro— que se integraron en el conjunto del nuevo templo clasicista. La cúpula apoyó, por lo tanto, en parte sobre esta cabecera —el ábside— y, en parte, sobre las estructuras nuevas de dos pilares, cuyas cimentaciones también aprovecharon parcialmente cimentaciones

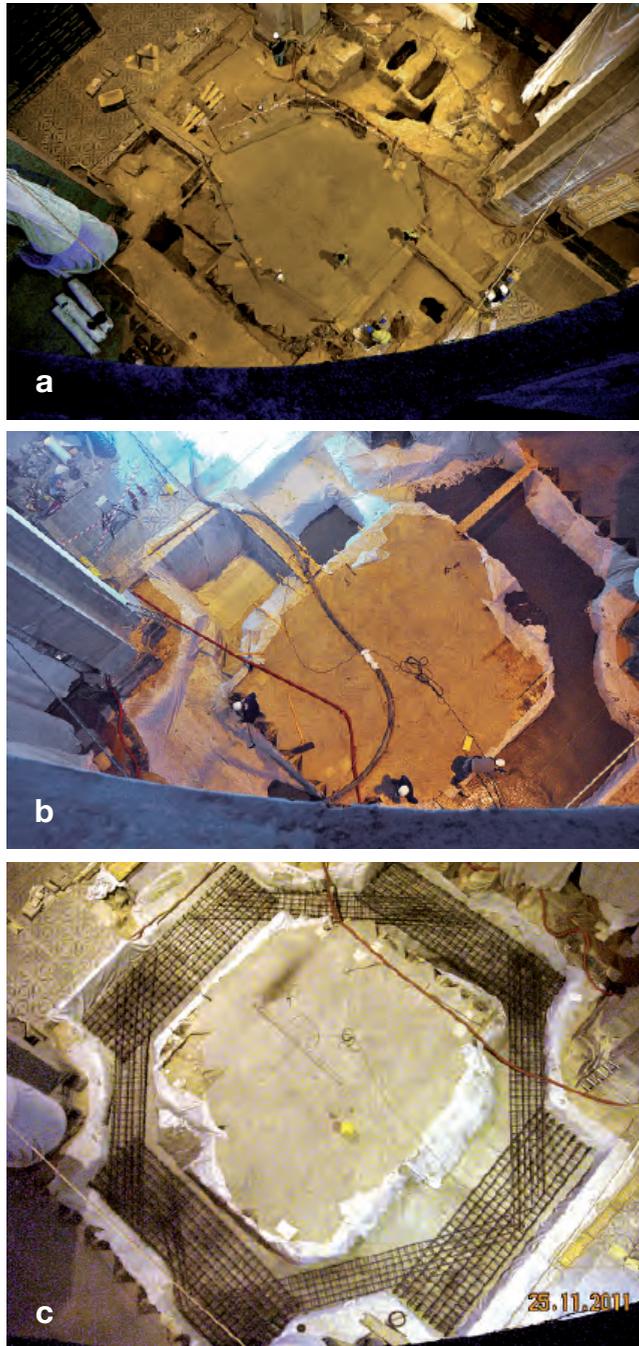


Fig. 6. Trabajos para la realización de la cimentación de la cimbra de apeo: a) La aparición de criptas en la zona; b) Llenado de las criptas con hormigón; c) Colocación de la armadura.



Fig. 7. Montaje de la cimbra.

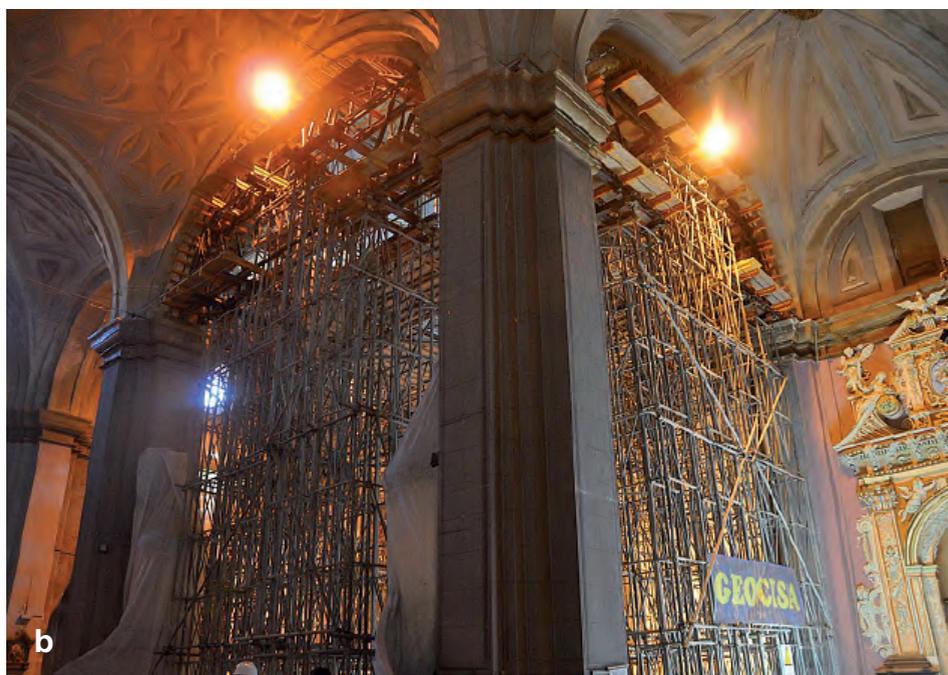


Fig. 8. Detalles de la cimbra terminada: a) El encuentro del camón con la fábrica; b) La cimbra completa.



Fig. 9. Apertura de grietas: a) Se pueden ver las grietas en su verdadera magnitud al retirar los elementos sueltos; b) Se comienza a monitorizar el crucero.

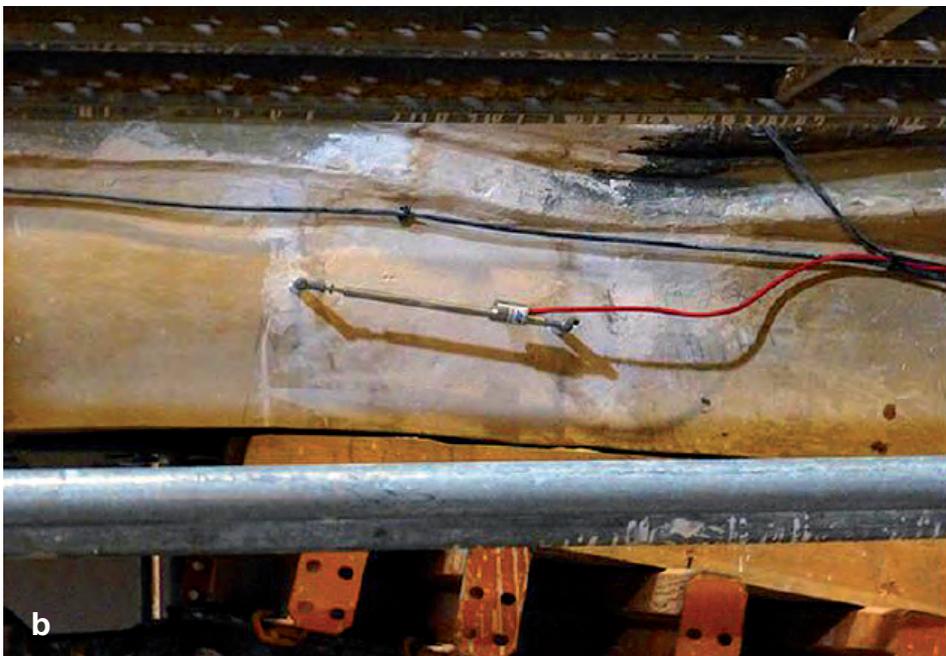
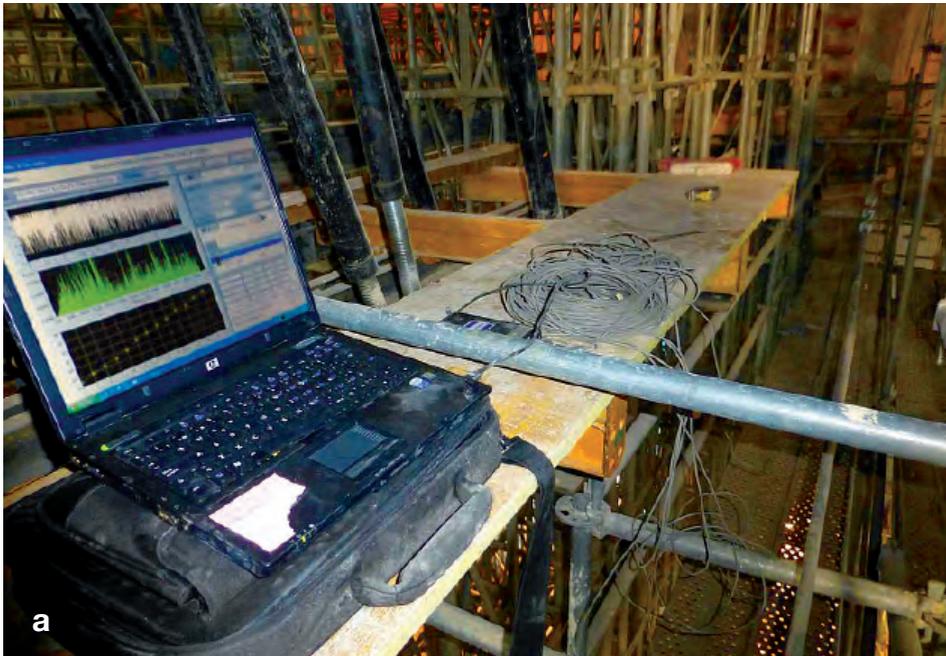


Fig. 10. Monitorización y comprobación del estado de carga de los tirantes existentes mediante el ensayo de cuerdas vibrantes: a) Ensayo de cuerdas vibrantes; b) Fisurómetros. Este dispositivo junto con las convergencias enviaba señal del estado de la estructura en tiempo real.

medievales. Los asientos iniciales y los empujes generados hubieron de preocupar en su momento, según pudimos deducir de los refuerzos entonces realizados, con un contrafuerte adicional en fachada y con un macizado del preexistente que le correspondía en el extremo opuesto de la nueva arcuación. No era ese el único —ni siquiera el mayor— de los problemas creados por esta reutilización de estructuras. El frente conservado de la cabecera contenía, a uno y otro lado del ábside, estructuras bien diversas. Al norte, los cuerpos bajos del campanario medieval fueron recreados por dos nuevos cuerpos de campanas y carracas, así como por un pesado chapitel. Como contrarresto de los empujes procedentes de la bóveda, su inercia resultaba favorable, pero el enorme peso añadido causó, en definitiva, el asiento de 21 cm que llegó a experimentar el apoyo noreste de la cúpula y el visible desplome que muestra. Por lo que respecta a las estructuras que se conservaron en el lado sur del ábside central, donde todavía existía una capilla, la situación era distinta, ya que los empujes tenían que transmitirse a través del arco de ingreso a esta capilla, otra estructura medieval, descubierta durante las obras, totalmente enmascarada bajo la decoración del periodo barroco. La falta de simetría que presentaban los estribos situados al lado oriental de la cúpula favorecía, por lo tanto, el desplazamiento del situado al sur y la consiguiente rotura, tanto del arco toral como de la bóveda que cubría la capilla mayor.

Dentro de esta compleja situación es preciso mencionar, aunque se desarrollará más adelante, la existencia de atirantados de hierro, colocados, según la documentación examinada, en 1942, tras un informe de Manuel Lorente Junquera, fechado en el año anterior, en el que se diagnosticaba la amenaza de ruina de toda la estructura del templo. No es preciso insistir en el nivel de preocupación que el hecho genera en quien debe revisar la situación setenta años después, una vez constatados movimientos muy significativos, experimentados desde entonces [fig. 11].

El proyecto se concibió para actuar, sucesivamente, en tres frentes. Dispuestos andamios, tanto al exterior como al interior de los apeos, se realizaron, en primer lugar, los trabajos de consolidación de la fábrica de los arcos torales y del arranque del tambor, mediante las mismas técnicas utilizadas para los primeros trabajos, con el fin de reintegrar en buena medida el monolitismo de la fábrica original y la continuidad a la fábrica, de modo que pudiera trabajar con toda la masa resistente.

En una segunda etapa, se instalaron nuevos tirantes en los arranques de los arcos para controlar los desplomes de los pilares y disminuir los empujes de los arcos torales [fig. 12]. Para este trabajo se realizó previamente una modelación por elementos finitos. Este modelo a diferencia del utilizado inicialmente, no nos da valores extremos de empuje máximo y mínimo, sino un valor del trabajo de la fábrica, considerando la misma como un medio continuo elástico e isótropo, lo que conocemos como modelo “Chile”. Este modelo tiene algunas ventajas sobre el de estática grafica para el dimensionado de elementos ya que no parte de simplificaciones como considerar la fábrica con resistencia infinita a compresión, reconoce la resistencia a tracción de la fábrica y los desplazamientos que se producen. Es posible comprobar con este método el comportamiento de los elementos colocados de manera local, así como la interacción estructura-tirante. El inconveniente que presenta —entendido, en cualquier

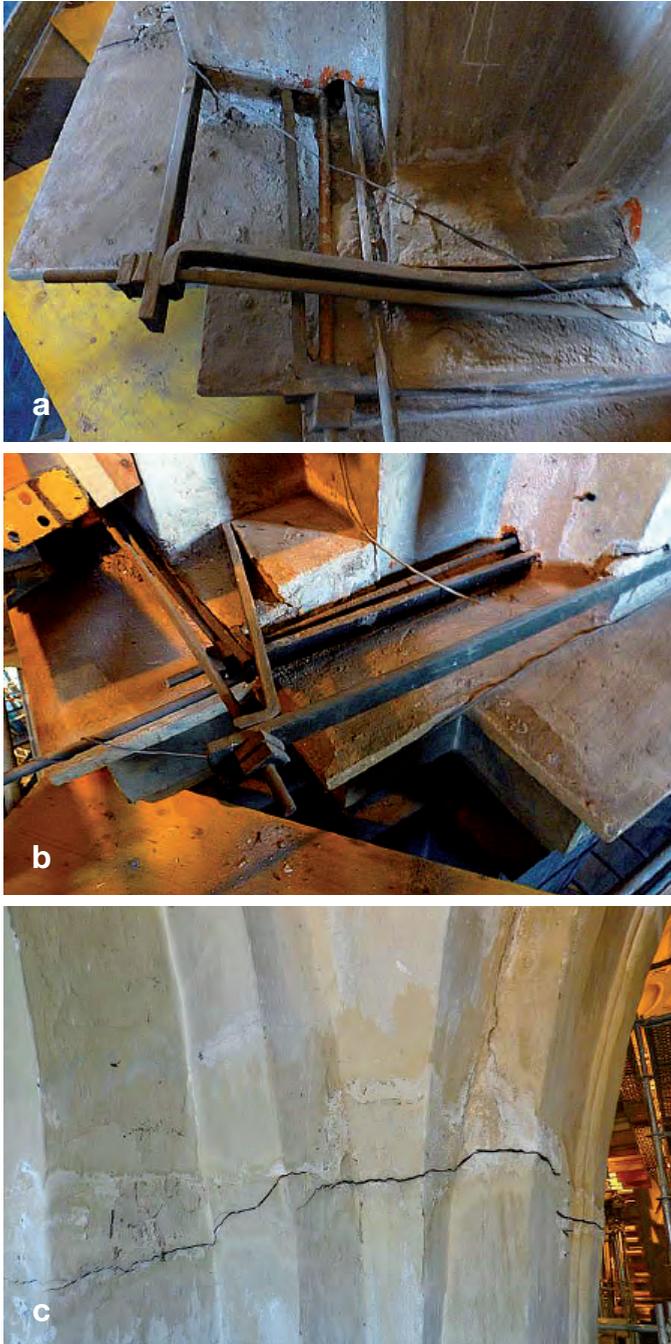


Fig. 11. a) Estado de las uniones con los tirantes de la fase anterior;
b) Los tirantes han fracasado por estas uniones;
c) La grieta del arranque del arco.

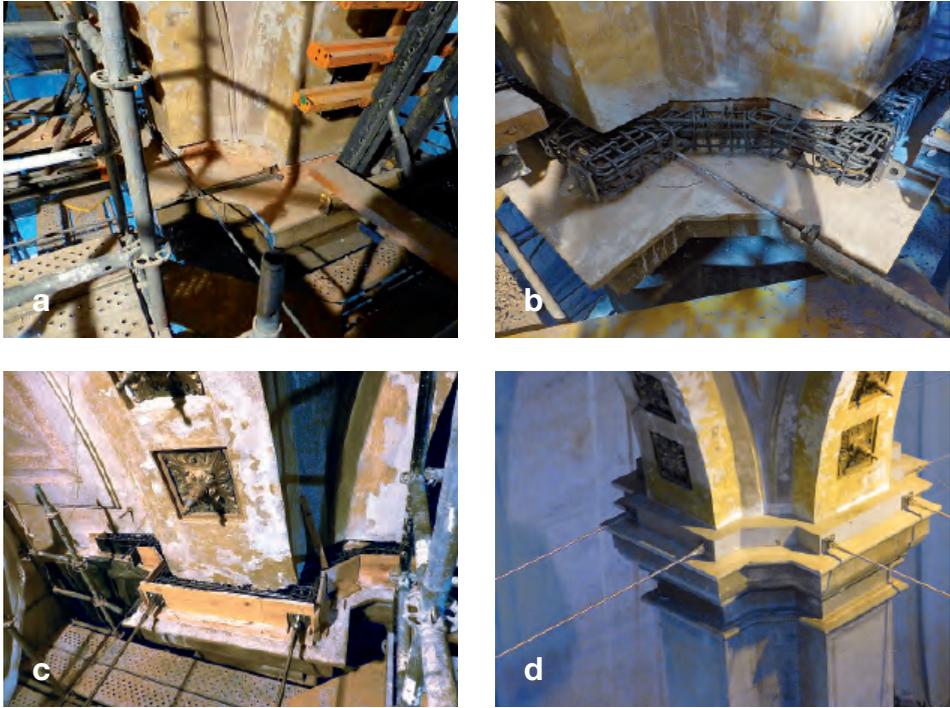


Fig. 12. Proceso de colocación de los tirantes: a) Se quitan los tirantes existentes; b) Se abre roza para eliminar los yesos existentes y se coloca la armadura del anillo; c) Se coloca la cimbra y la unión de los tirantes; d) Los tirantes instalados.

caso, que debe verificarse hasta qué punto y dónde la fábrica es isótropa— es que el valor de empuje resultante es algo mayor al real por lo que es preferible el método de la estática gráfica para un análisis de estado de la estructura y el de elementos finitos para el dimensionado de los elementos. Este método numérico se utiliza para analizar la resistencia y deformación de estructuras sometidas a diferentes tipos de cargas y se basa en la división de la estructura en pequeños elementos que se consideran indivisibles y se analizan por separado. Una vez dividida la estructura en elementos finitos, se aplican las cargas y se calculan las fuerzas que actúan en cada uno de ellos. Luego, se resuelven las ecuaciones matemáticas que describen la relación entre las cargas y las fuerzas actuantes entre ellos, para determinar la deformación y resistencia de la estructura completa. Se trata, pues, de una herramienta muy útil en el análisis de estructuras, ya que permite obtener resultados precisos y detallados en un corto tiempo. Además, se demuestra capaz de modelar estructuras complejas y considerar diferentes tipos de materiales, cargas y condiciones de carga, por lo que su aplicación es común en ingenierías civil y mecánica.

Se consideró que, dado que la operación consistía en sustituir unos tirantes sobrecargados, cuyo estribos habían adquirido unas deformaciones muy notables, por

otros, cuyo efecto en el conjunto de la estructura fuéramos capaces de controlar, en base a los nuevos y más precisos cálculos realizados, pero ocasionando a las viejas fábricas el menor estrés posible, su disposición resultaría semejante a la de los sustituidos y su carga de servicio, a ser posible, no muy diferente a la soportada por los antiguos, obviamente idéntica a su reacción en la propia estructura. De este modo, se usaron barras de acero inoxidable de diámetro 20 mm que iban en parejas de dos y se unían desde los arranques de los arcos, centrando los empujes de los arcos dentro de los pilares torales y disminuyendo la excentricidad soportada por los cimientos.

Estos nuevos tirantes se colocaron de manera que se puede considerar pasiva, con una carga inicial del orden de los 30 Kn. La idea es que, dado el alto módulo elástico del acero, con pequeños movimientos de los arcos del orden de decimas de milímetro el tirante adquiere tensión y esto evita el tener que someter a la estructura a los traumas que implican el tesado de las barras.

Otro de los problemas a resolver, era la unión de las barras a la fábrica. Los tirantes a sustituir, habían fracasado precisamente en la solución de la unión del tirante con la fábrica. Para comprobar la tensión a la que estos estaban sometidos, se realizó un ensayo de cuerdas vibrantes que mide la frecuencia a la que vibra una cuerda al someterla a una excitación. La forma de medir la tensión se podría asemejar a como de alta suena una nota de una guitarra a medida que la cuerda está más tensa. En el caso de la guitarra cuanto más aguda la nota, más tensión soporta la cuerda. Se comprobó, en el caso de los arcos torales, que los tirantes no tenían tensión, por lo que se pudo proceder a su desmontado sin tener que utilizar ningún otro tipo de medida adicional.

Para esta unión se diseñaron unos anillos de hormigón armado, que se dispusieron semiempotrados en la fábrica del enjarje de los arcos en el caso de los pilares situados al oeste y con otras soluciones de empotramiento para los situados al este, donde no era posible cerrar anillos completos. Para unir los tirantes a la torre que tenía una gran masa de fábrica de yeso y ladrillo se realizaron unos trépanos o taladros para la colocación de anclajes, que consisten en una barra y una armadura de confinamiento que trabaja por rozamiento [fig. 13]. Si embargo, en el lado de la sacristía, el muro no tenía suficiente masa para realizar un anillo, de modo que se zunchó la esquina, cerrándose el anclaje en el lado opuesto [fig. 14]. Este sistema de estribado presentaba alguna otra peculiaridad, como la elevadísima cuantía del acero en armaduras, lo que aconsejó el uso de un *grout* cementicio de retracción moderada, muy fluido, para el llenado de los moldes, siempre teniendo en cuenta que estos elementos quedarían vistos y que, por consiguiente, su dimensionado debía reducirse al mínimo para evitar el impacto visual.

Para poder tener una idea de la tensión que tendrán las barras en el futuro, se incorporó en ellas lo que se denominó fusible. Se trataba de un mecanismo formado por dos rosetas que se anclan a las barras y se colocan en el centro del tirante. Entre estas dos rosetas y debajo del tirante, que en este tramo presenta una sección menor, se coloca una barra delgada, articulada en el centro, anclada a una de las rosetas y apoyada en la otra, con el deslizamiento libre, de tal manera que, a medida que el tirante

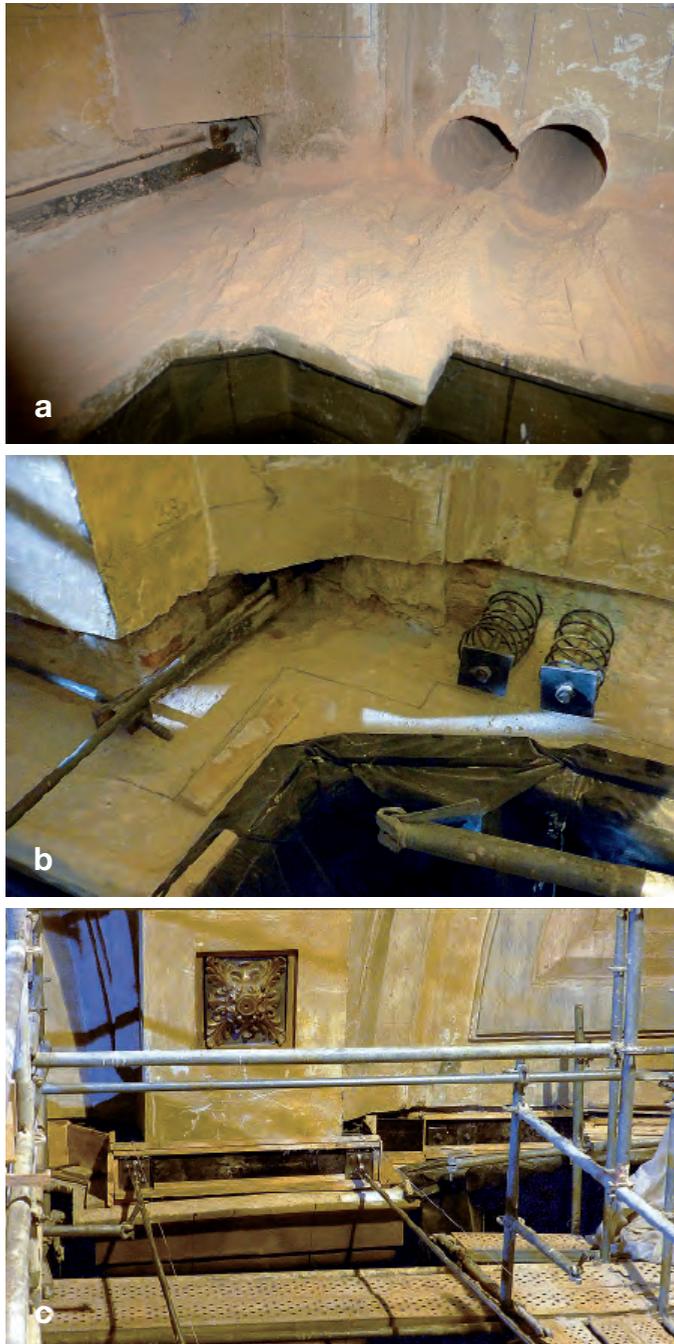


Fig. 13. El caso particular de la unión de los tirantes en la torre:
a) Trépanos en la torre; b) Instalación de anclajes; c) La armadura
y el molde colocados antes de hormigonar.



Fig. 14. El caso particular de la sacristía: a) La unión del tirante a la fabrica de la sacristía mediante una viga de hormigón; b) El tirante terminado.

se estira en este tramo por efecto de un eventual incremento de la carga, los apoyos de la barra libre se separan cada vez más hasta que llega un momento en que la barra queda suspendida ostensiblemente por su articulación. Dado el caso, la información que se obtendría, de entrada, es que el tramo central del tirante estaría trabajando en el límite elástico del acero. En esa circunstancia, el acero podría seguir deformándose sin apenas incremento de la tensión, es decir, no se produciría inseguridad grave, pero convendría revisar ese estado tensional. Naturalmente, este estado hipotético vendría acompañado de unos cuadros de fisuración que deberían ser analizados para valorar las posibles intervenciones a realizar, sin necesidad de proceder a la sustitución del sistema de atirantado, disponiendo de margen para que futuros técnicos puedan estudiar la situación, ya que el tirante no rompería hasta agotar toda la rama plástica, y con un conocimiento objetivo de la situación muy superior, evidentemente, al que nos fue dado conocer en agosto de 2010.

La solución descrita para la revisión del atirantado en 2014 se aplicó, con los mismos criterios e idéntico diseño, entre los cuatro pilares que soportan la bóveda existente sobre el coro, durante los trabajos de restauración interior, en 2022. Se trataba de un tramo intermedio de la nave central, cuya bóveda presentaba un agrietamiento especialmente acusado. La particularidad estribó en el procedimiento de puesta en obra, ya que, ante la imposibilidad de disponer apeos preventivos, dada la presencia del coro, fue preciso implementar un estado intermedio en el que las tensiones de los tirantes iniciales eran absorbidas por eslingas durante el desmontaje y durante el montaje y puesta en servicio de los nuevos

En el crucero, una vez instalados los tirantes y con la fábrica consolidada, se consideró que se había recuperado suficiente rigidez en la estructura como para hacer innecesario el cimbrado de apeo, lo que habría de permitir el comienzo de la intervención en cimentación. El objetivo buscado en los trabajos consistía en aumentar su perímetro para que tuvieran más área de apoyo contra el suelo y así transmitir una presión menor. La manera más sencilla de hacerlo era crear un anillo de hormigón abrazando la actual cimentación existente.

Hay varios parámetros que influyen en la tensión de hundimiento de un cimiento, los parámetros de Coulomb, ángulo de rozamiento interno y cohesión, que dependen del terreno y que no podemos modificar. Debe considerarse, igualmente, la carga de confinamiento lateral, que es la que transmite el terreno inmediato al cimiento. En la fase anterior a la colocación del apeo, las criptas que habían dejado el cimiento sin empotramiento, justamente en la dirección donde le resultaba más necesario habían sido rellenadas, con una aportación de carga lateral que aumentó la resistencia del terreno.

La profundidad del cimiento, el área de trabajo y la excentricidad de las cargas son los parámetros que sí podemos modificar para que la estructura trabaje en unas condiciones adecuadas. Los trabajos anteriores de atirantado y consolidación de la fábrica habían conseguido que la excentricidad de las cargas transmitidas a los cimientos no siguiera aumentando, por lo que al incrementar el área de trabajo conseguiríamos la



Fig. 15. Trabajos de recalce de la cimentación: a) Estado inicial del cimientó; b) Regularización de la superficie del cimientó y la realización de trépanos; c) Instalación de camisas metálicas y armadura de tirantes para postesado; d) Colocación de la armadura de la cimentación ampliada; e) Se hormigona primero el interior de la cimentación sin las esquinas para poder dar tensión contra la cimentación; f) La cimentación reforzada.

estabilización del crucero tal y como estábamos necesitando. Por otra parte, el anillo nuevo debía trabajar solidariamente con el cimiento existente lo antes posible, ya que pequeñas rotaciones de los cimientos producen grandes giros en los pilares y estos a su vez nuevos movimientos de la fábrica.

Se consideró, en vista de las condiciones que debía cumplir, que el diseño definitivo de la solución de refuerzo y ampliación de la cimentación de las zapatas optaría por técnica de postensado. El procedimiento consiste en la instalación de unos tirantes activos en el interior del cimiento existente, para lo que es preciso realizar unos trépanos por los que se introducen las barras. La ejecución no es sencilla. Requiere experiencia y un control permanente, dado que el estado de esa cimentación y su calidad constructiva son deficientes y se realiza en las siguientes etapas: en primer lugar, se sana y se excava la cimentación hasta el nivel de apoyo y se rellena con hormigón de limpieza hasta el nivel de la nueva cimentación, que resultará algo más alto. Seguidamente, se realizan los trépanos en dos direcciones cruzadas y se introducen las barras de acero, según cálculo, se ejecutan las pantallas de hormigón armado, dos a dos, dejando las esquinas sin hormigonar, se aplica la tensión de trabajo a las barras y finalmente se hormigonan las esquinas. En nuestro caso, dentro de las pantallas se dejaron embebidas unas camias metálicas para facilitar en el futuro una operación de micropilotaje, en caso de que se juzgase necesario, circunstancia que, desde luego, no contemplamos en el presente. El trabajo se complementó con inyecciones consolidantes en la vieja zapata, y del enlace mecánico con las cimentaciones de las cimbras, que terminaron formando un eficaz zuncho de atado [fig. 15].

Concluidos los trabajos de recalce, se mantuvo la monitorización y fue posible observar que, tras un año de lecturas, el crucero no acumulaba deformación, constatándose, por lo tanto su estabilización. En consecuencia, los trabajos posteriores sobre el tambor y el casco de la cúpula, así como sobre su exterior, se redujeron a los imprescindibles cosidos estáticos y reparaciones de albañilería que mejorasen sus condiciones de conservación, sin llevar más adelante innecesarias intervenciones de rigidización.

La cúpula, por lo tanto, funciona de un modo muy parecido a aquel en que fue concebida. Actualmente sabemos que el elemento más eficaz, que garantizó su seguridad en cuatrocientos años fue la capacidad de soportar tracciones del encadenado de madera que se había dispuesto, en origen, embebido en el anillo de arranque del tambor. Conscientes de esto, únicamente realizamos los correspondientes trabajos de conservación, con aplicación de tratamiento antixilófagos, una vez comprobada la integridad material de este elemento, a través de numerosas catas.

Obras en el ábside y cuerpo de la sacristía

Una vez realizados los trabajos de estabilización de crucero se continuó con los trabajos de restauración en el ábside y sacristía. Se obró así por razones de urgencia, dado el estado ruinoso que presentaban algunos de sus elementos [fig. 16]. Se trataba

de dos piezas de diferente época, muy diferentes desde el punto de vista estructural y con unos problemas de conservación también diferentes, pero su secuencia constructiva y las intervenciones realizadas sobre ellas en los años sesenta del siglo XX aconsejaban una actuación simultánea sobre ambas.

El ábside presentaba grietas verticales, coincidentes con la posición de unos pilares de hormigón armado empotrados en su interior que formaban parte de una prótesis ejecutada por Rafael Mérida Poch en el año 1969, que se completaba con un zunchado a base de perfiles de acero, también empotrados en el seno de la fábrica medieval de ladrillo.

La armadura de la estructura de hormigón había sufrido la carbonatación de la capa de recubrimiento con la consiguiente oxidación de las armaduras y los perfiles de acero presentaban también un estado de corrosión muy avanzado. Con la oxidación aumenta el volumen y rompe la capa de recubrimiento. Esto se transmite al cajeado exterior de ladrillo, fisurándolo, tal como se había observado. El proyecto de Rafael Mérida no aclaraba del todo el papel de esta prótesis, aunque podía deducirse, dentro del conjunto de trabajos a ejecutar en el ábside, que pretendía realizar una especie de apeo permanente interior, llevando, mediante una estructura adintelada oculta, las cargas de los cuerpos superiores del ábside a la potente y profunda cimentación medieval, en la que empotró los pilares [fig. 17]. Desde el punto de vista conceptual, la intervención podría juzgarse discutible y, desde luego, su diseño no permitía una durabilidad suficiente e introducía materiales que, a medio plazo resultarían perjudiciales para la conservación de la fábrica, pero no se consideró prudente su eliminación, que habría supuesto la extracción traumática de estos elementos y la necesidad de disponer otro sistema alternativo que los sustituyera. Resultaba más aconsejable revisar el diseño y ejecución material de esta prótesis, para convertirla en algo más duradero y compatible con la fábrica original.

Los trabajos de restauración consistieron en la retirada de la capa de hormigón alterada y la limpieza y pasivado de las armaduras, con nueva colocación de capa de recubrimiento con puente de unión. Las vigas metálicas se sustituyeron por tramos de viga de hormigón armado con acero inoxidable, generando un plano horizontal de transmisión de cargas y creando nudos rígidos, que dieran continuidad horizontal al nuevo elemento, de modo que pudiera ejercer un efecto de zunchado que, realmente, nunca había llegado a tener, dado que los perfiles metálicos se habían colocado completamente inconexos. Finalmente, se consolidó la fábrica, actuando en huecos y en fisuras, del modo ya descrito para el crucero.

El cuerpo de sacristía presentaba problemas en las estructuras de cubierta, en parte apuntaladas, y en los dos forjados, de suelo y de techo del archivo capitular dispuesto sobre ella. Este último descansaba, de hecho, sobre la bóveda tabicada de la sacristía, sometiéndola a una sobrecarga para la que no había sido creada y causando su fisuración. Se optó por su sustitución [fig. 18]. El techo del archivo era un forjado de viga bocelada y revoltón de yeso, cuya conservación era posible, en gran parte, por lo que fue restaurado, respetando sus características constructivas. En cuanto a las estructuras



Fig. 16. Estado inicial de ábside con las grietas de directriz vertical que presentaba, con un control de fisuras mediante testigos de yeso.

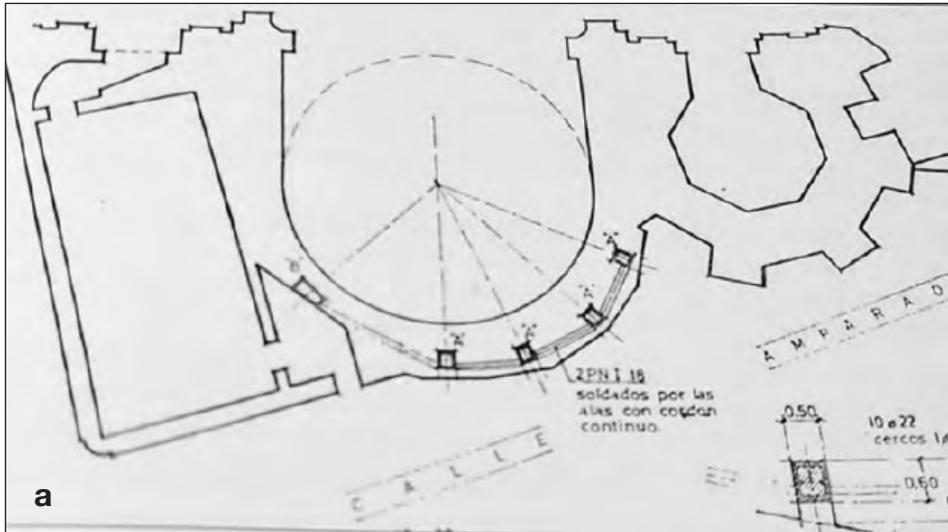


Fig. 17. a) Plano del proyecto de Rafel Mélida Poch; b) Estado de la armadura; c) Reparación de la estructura.



Fig. 18. Obra en el archivo capitular, sobre la sacristía: a) Estado inicial de la estructura; b) Trabajos de saneado de la estructura y colocación de vigas nuevas.



Fig. 19. Obra en la cubierta de la sacristía: a) Se modifica el volumen de cubierta para permitir la entrada de luz; b) Colocación de la estructura de madera soporte.



Fig. 20. Obra en la cubierta del cuerpo de sacristía: a) Forjado de chapa colaborante; b) Nuevo volumen de la cubierta tras la actuación.

de cubierta, fueron también sustituidas, solucionando de este modo su entrega a la galería del siglo XVI y recuperando la entrada de luz natural a la capilla mayor [figs. 19 y 20]. Por otra parte, la ruinosa escalera de acceso se encontraba macizada e inutilizada desde 1969. Se conservó su caja de albañilería, entre otras razones, porque en ella se arriestra el costado izquierdo del retablo mayor, y se reconstruyó con perfilera metálica, anclada a las estructuras del ábside, un elemento capaz de trabajar como un enlace o cosido, en el lugar en que el ábside fue cortado en el siglo XVIII para alojar la escalera.

Intervenciones estructurales en la fase de restauración interior

Se han descrito, a propósito de las revisiones del sistema de atirantado de 1942, los trabajos que, dentro de la última fase de las obras, se ejecutaron en el tramo del coro, a semejanza de los ya realizados en la cúpula. En este caso, los tirantes presentaban tensión y además resultaba imposible colocar apeos para la seguridad del conjunto por lo que se optó por la realización de unos tirantes provisionales para poder trabajar con seguridad. Ciertamente, era el único punto en que se juzgó necesario mantenerlo, vista la evolución [figs. 21, 22 y 23] del estado del conjunto de arcos y bóvedas que cubren las naves, que presentaban uno cuadro de grietas que se habían activado tras las restauraciones de mediados del siglo XIX, todas ellas relacionables con los desplazamientos en sus estribos, considerablemente más acusados en tanto que nos aproximábamos al crucero, donde como sabemos, se habían registrado los movimientos de mayor cuantía. El objetivo de la obra fue dotar de continuidad a la fábrica mediante la colmatación de las grietas mediante la ya conocida técnica de cosidos estáticos mediante varilla de fibra de vidrio y grapas de acero inoxidable acompañada de los rellenos de lechadas consolidantes y las reparaciones con técnicas de albañilería tradicional.

El proyecto de restauración interior se concibió con el objetivo de reabrir el templo al culto en condiciones aceptables de seguridad y de dignidad formal. Su contenido, por lo tanto, incorporaba obras de muy diversa naturaleza, y de considerable extensión, dado que debían afectar a la totalidad del templo. Incluían el saneado de todas las tierras bajo solerías y, con ello, importantes trabajos de investigación arqueológica, así como la desalación de las bases y tercios inferiores de los muros. La solución adoptada para la aireación del nuevo encachado —una gruesa capa de grava limpia— fue la instalación de tubos perforados de aireación, comunicados con el exterior. En el marco de estos trabajos, se descubrió que dos de las criptas del templo, situadas en el tramo más occidental, a los pies de la capilla de San Joaquín, habían sido seccionadas en 1974 por la galería de la calefacción dejando sus bóvedas completamente desequilibradas. La portada de la mencionada capilla presentaba una grieta vertical y unos movimientos en su zócalo de piedra, cuya causa, hasta entonces no del todo establecida, era posible relacionar con el estado de las estructuras dañadas sobre las que se estaba apoyando. Para su estabilización, se decidió colmatar la cripta, recuperando con ello las condiciones originales de apoyo de esta zona del hastial occidental del templo, en el que se inscribe.

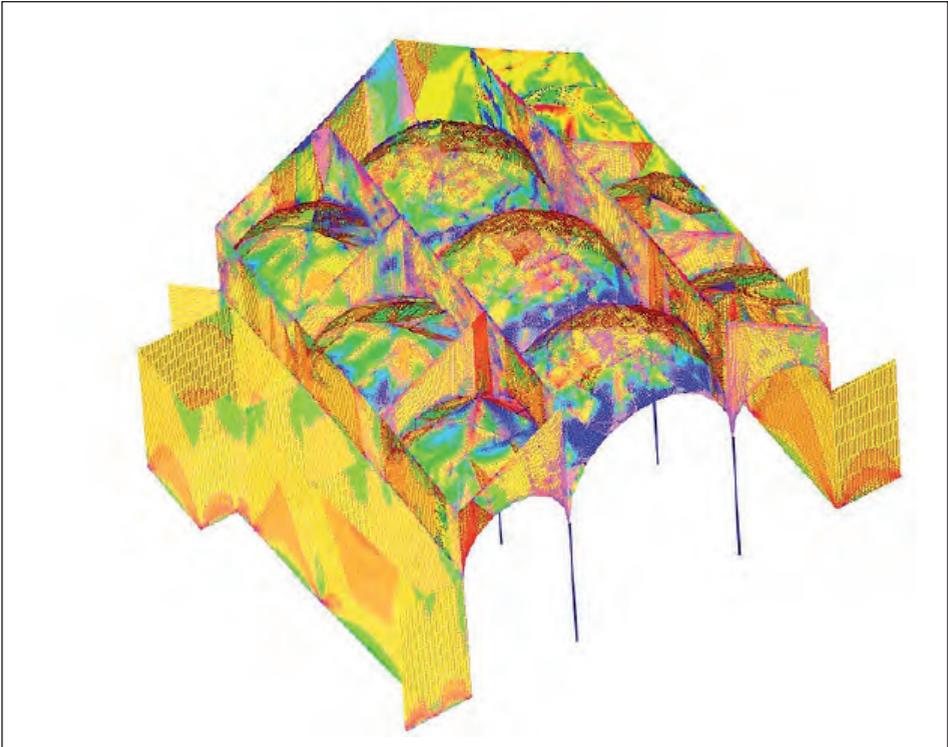


Fig. 21. Modelización de la estructura de las naves mediante el método de elementos finitos.



Fig. 22. Trabajos de sustitución de tirantes en el coro.
Colocación de tirantes provisionales textiles.

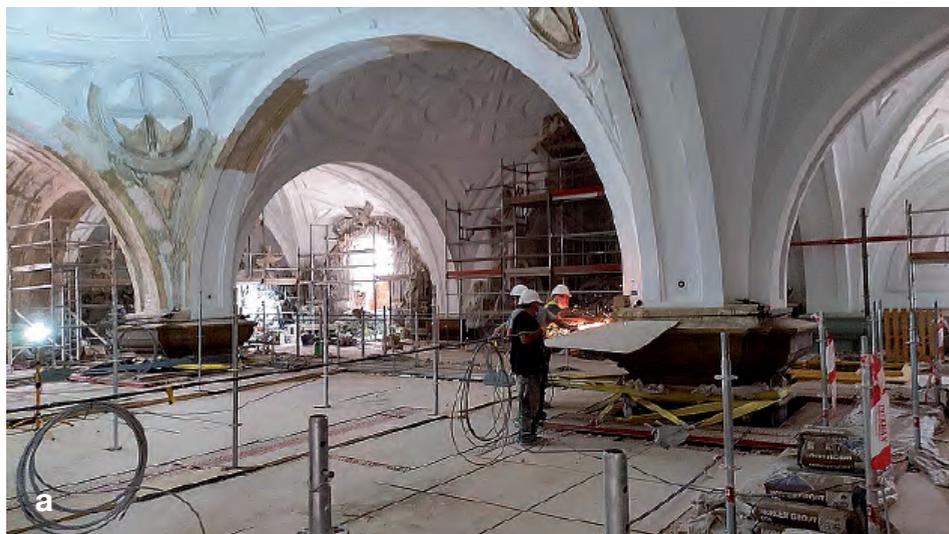


Fig. 23. Trabajos de sustitución de tirantes: a) Los provisionales están colocados y se procede al corte de los de la fase anterior; b) Los nuevos colocados. Todavía los provisionales no están retirados.

Estudios preliminares de la estructura del claustro

Uno de los objetivos del Plan director de la colegiata de Santa María era la restauración del Claustro, si bien las obras prioritarias se centraron en el templo. Sus problemas estructurales, con una larga historia de asentamientos y desplomes en sus muros y una también larga historia de intervenciones desde los años sesenta a los últimos noventa del siglo pasado, eran bien conocidos y estaban suficientemente documentados. La restauración de mayor alcance estructural fue dirigida en 1966-1970 por Ramiro Moya Blanco, quien reformó drásticamente el patio interior, cajeó y reforzó muros, eliminó piezas adosadas y lo pavimentó en su totalidad. A partir de ese periodo, una serie de incidentes sucesivos en la red de aguas causaron episodios de ruina parcial, a los que se acudió con intervenciones de urgencia, también parciales, registrándose una primera en 1986, que consistió en un recalce con columnas, tipo *Jet Land* a lo largo del frente este, una segunda, en 1998, que alcanzó a la esquina noroeste y consistió en una mejora del terreno con inyecciones, tipo *Jet Grouting*, y una más extensa, en 1999 que, en vista de los deficientes resultados que se observaban, consistió en el micropilotaje del claustro en su práctica totalidad.

La realidad presente en el momento de redactar la actualización del Plan director, en 2011, mostraba algunos daños preocupantes y de difícil diagnóstico, visto el historial de intervenciones sufridas. Llamaba la atención el hinchamiento de soleras en el ángulo noroeste, visibles tanto en el interior como en la calle, y cuadros de fisuración en muros que podrían ser compatibles con empujes del terreno hacia arriba [fig. 24]. Las catas demostraban materiales alterados en la base de los muros, cabezas de micropilotes deficientemente empotradas en la fábrica y un cajeo exterior en el muro de ladrillo que se desolidarizaba de la fábrica original. Estos problemas de hinchamiento habían sido detectados en 1999 y relacionados con la formación de sales expansivas como reacción de los componentes de las lechadas de inyección con los existentes en el terreno, en presencia de humedad. Esta es la razón por la que se optó finalmente por el micropilotaje, frente a la propuesta proyectual de completar la aplicación del *Jet Grouting*. La documentación de proyecto detecta problemas de expansividad por la aparición de sales relacionadas con la reacción del yeso que existe en la cimentación y el terreno y la alúmina del cemento Portland para formar etringita, que es una sal expansiva, pero resulta sorprendente si la lechada utilizada es de cemento portland sulfato-resistente, es decir tiene baja alúmina, por lo que se advierte de la posible presencia de otra sal, la taumasita, resultado de la reacción de yeso y cal, existentes en la fábrica y el terreno, con la sílice del cemento.

Puesto que todo indicaba que las patologías presentes estaban relacionadas con las sales del cemento, ya en el periodo en que el Plan director estaba bajo nuestra responsabilidad, se realizaron una serie de probetas utilizando lechadas similares a las del recalce y exponiéndolas de manera acelerada a un medio agresivo para observar si la muestra reaccionaba. Las muestras se prepararon en el laboratorio de materiales de la Escuela Universitaria de la Almunia y tras su desmoldeo fraguado y endurecido se mantuvieron a una temperatura constante de 9 grados en agua saturada con yeso.



Fig. 24. Estado del claustro: a) La solera se ha levantado por la expansividad de las sales producida por la reacción de las lechadas de cemento con los yesos y cal del terreno; b) Vista del exterior del claustro, apreciándose las zonas reparadas en el zócalo de la esquina y en grietas.

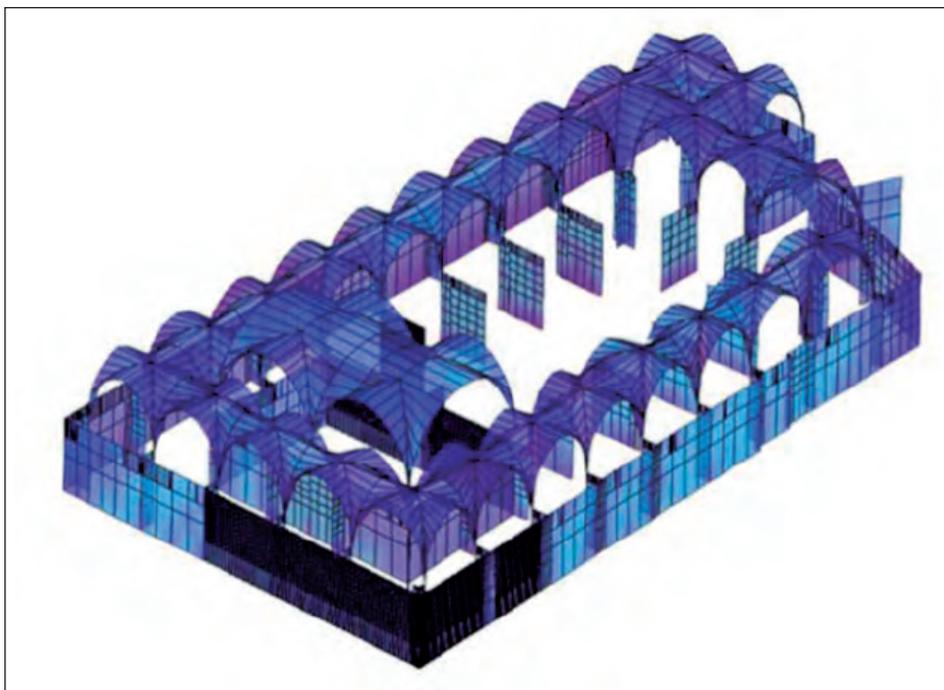


Fig. 25. Análisis de la estructura del claustro mediante el modelo de elementos finitos.

Después de 12 meses de exposición al medio agresivo, se analizaron las sales aparecidas y se comprobó que no se correspondían con la etringita (que es la sal habitual en medio agresivo) sino con la taumasita, que es una sal asociada a los silicatos del cemento y no a los aluminatos.

La taumasita es una sal que se detecta por primera vez por Erin y Stark en 1965 y desde entonces el examen un numero de deterioros constructivos ha dado lugar a un importante número de investigaciones acerca de sus mecanismos de formación. A pesar de todo ello, las diferentes variables involucradas han dificultado la creación de un modelo definido que permita prever y evitar su aparición.

La aparición de esas sales va acompañada de dos procesos patológicos. En primer lugar, se produce la expansividad de la masa con la aparición en el caso concreto del claustro con la elevación de la solera en un proceso que ya lleva 20 años de progresión. Las sales producen empujes del orden de los 2 kg según la bibliografía consultada, siendo menores en los ensayos de edómetro realizados por la empresa Control 7 del orden de 1 kg. El segundo problema tiene relación con la agresividad química. Las columnas de *Grouting* acabaran perdiendo su matriz silíceo y, por tanto, su resistencia, dejando el suelo alterado y con poca capacidad portante.

Interesaba, a nuestros efectos, la afección estructural de este problema, por lo que se realizó un modelo de elementos finitos del conjunto del claustro, simulando

una presión en los nodos de las columnas de *Grouting*, de esta tensión, mediante la introducción de deformaciones impuestas, observándose que la estructura muraria era poco susceptible a sufrir movimientos por la introducción de estas tensiones [fig. 25]. Es decir, los fenómenos expansivos no moverán los muros, en principio, aunque sí podrán empujar y desprender los cajeros y deformar las soleras.

Se examinaron otros casos de la comarca, como la iglesia de San Martín, en Morata de Jiloca, que presenta las mismas patologías y había sido objeto de idéntica intervención en el terreno sustentante, lo que permite sospechar que el problema deba ser estudiado con mayor extensión y diseñar soluciones específicas para su corrección. Por el momento, juzgamos recomendable que, para la restauración de esta parte del Claustro se considere la creación de una cámara hueca registrable que permita ir posando las sales que vayan apareciendo, sin transmitir presiones al pavimento, realizar la comprobación del estado de las cabezas de los micropilotes en la unión con la estructura existente ya que es posible que se haya degradado por la agresividad del terreno y finalmente el recalce de la esquina noroeste con nuevo micropilotaje por la previsible degradación del *Jet Grouting* existente.



AYUNTAMIENTO
DE CALATAYUD

