

# Deformaciones estructurales de la iglesia visigoda de Sant Miquel de Terrassa

## *Structural deformations of the Visigothic church of Sant Miquel de Terrassa*

A. Costa-Jover <sup>(\*)</sup>, J.M. Macias Solé <sup>(\*\*)</sup>, J.M. Puche Fontanilles <sup>(\*\*\*)</sup>

### RESUMEN

El artículo presenta el análisis detallado del estado actual de las deformaciones estructurales de una iglesia funeraria visigoda de planta cuadrada con una cruz griega inscrita. La documentación efectuada con el escáner láser constituye la base métrica que facilita la identificación de las variaciones sufridas por la fábrica en base a un estadio óptimo y teórico de la edificación original. Los resultados permiten profundizar en la comprensión sobre la evolución histórica del edificio, así como establecer un punto comparativo para futuras acciones de seguimiento estructural.

**Palabras clave:** Sant Miquel de Terrassa, visigodo, románico, fotogrametría, escáner láser terrestre, obra de fábrica, deformaciones.

### ABSTRACT

*The paper presents the detailed analysis of the current state of structural deformations of a Visigothic funerary church with a square floor plan and an "inscribed" Greek cross is made. The laser scanner documentation constitutes the metric base that facilitates the identification of the variations suffered by the factory based on an optimal and theoretical stage of the original building. The results allow us to deepen in the understanding of the historical evolution of the building, as well as to establish a comparative point for future structural monitoring actions.*

**Keywords:** Sant Miquel de Terrassa, Visigothic, Romanesque, photogrammetry, terrestrial laser scanner, masonry, deformations.

(\*) Doctor. Personal docente investigador. Universidad Rovira i Virgili, Reus (España).

(\*\*) Doctor. Investigador Sénior. Instituto Catalán de Arqueología Clásica, Tarragona (España).

(\*\*\*) Doctor. Unidad de Documentación Gráfica. Instituto Catalán de Arqueología Clásica, Tarragona (España).

**Persona de contacto/Corresponding author:** [agusti.costa@urv.cat](mailto:agusti.costa@urv.cat) (A. Costa-Jover).

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6194-3243> (A. Costa-Jover); <https://orcid.org/0000-0002-1146-7015> (J.M. Macias Solé); <https://orcid.org/0000-0002-8674-2966> (J.M. Puche Fontanilles).

---

**Cómo citar este artículo/Citation:** Costa-Jover, A.; Macias Solé, J.M.; Puche Fontanilles, J.M. (2019). Deformaciones estructurales de la iglesia visigoda de Sant Miquel de Terrassa. *Informes de la Construcción*, 71(555): e308. <https://doi.org/10.3989/ic.66776>

**Copyright:** © 2019 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 18/07/2018  
Aceptado/Accepted: 05/12/2018  
Publicado on-line/Published on-line: 19/09/2019

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de los sistemas de captura masiva de datos (SCMD) en la documentación gráfica del Patrimonio Arquitectónico, y su posterior análisis formal, constituye una práctica metodológica ya normalizada y previa a cualquier estudio desde disciplinas como la arquitectura o la ingeniería. Tanto el escáner láser terrestre como la fotogrametría digital han demostrado suficiente precisión ante la complejidad morfológica y la variedad de los materiales constructivos característicos de la Arquitectura Histórica (1) (2) (3) (4). De este modo, complementamos la documentación gráfica existente para el conjunto patrimonial.

Este documento es consecuencia del estudio arquitectónico desarrollado en la iglesia funeraria de Sant Miquel en base a la aplicación de los SCMD (5), e incorpora un nuevo enfoque analítico centrado en la identificación y cuantificación de los teóricos desplazamientos o desplomes que han sufrido los elementos estructurales hoy visibles. Por otro lado, esta tarea ha permitido una intensa actuación de difusión on-line a partir de la “reproducción digital” de su realidad patrimonial (<https://skfb.ly/6vNJK>).

Se trata de un ensayo teórico en base a unas condiciones óptimas de horizontalidad del plano de edificación y de verticalidad de las estructuras alzadas en el proceso inicial. En otras palabras, desconocemos si la ejecución del proyecto alcanzó la perfección geométrica que se ambiciona en todo planteamiento inicial; dado que es una realidad común la existencia de modificaciones o imperfecciones durante el proceso constructivo. También ignoramos qué procesos de envejecimiento estructural, colapsos arquitectónicos y acciones de restauración han incidido en su estado actual. Con esta aportación solo pretendemos ampliar el conocimiento métrico sobre el estado actual de un edificio histórico, apuntar la relevancia técnica de una serie de episodios históricos y, finalmente, ofrecer puntos de control o un estadio de referencia para el seguimiento futuro de la estabilidad del inmueble (Figura 1).

## 2. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Este análisis técnico se centra en la iglesia funeraria de Sant Miquel de Terrassa, uno de los tres templos cristianos que conforman la sede episcopal de Egara, desarrollada a partir del siglo V y en el antiguo municipium romano disperso que ha dado nombre a la actual ciudad de Terrassa, provincia de Barcelona. Este conjunto arquitectónico visigodo y románico

es uno de los más representativos y mejor conservados del Patrimonio Histórico hispánico, y un unicum en lo que se refiere a la pintura parietal de época visigoda (6). Prueba de ello es la actual voluntad municipal de incluir la Seud'Ègara en la World Heritage List de la Unesco.

Su construcción y monumentalidad refleja el deseo del poder episcopal de controlar y gestionar un extenso territorio tras la desmembración del Imperio Romano. Ello se pone de manifiesto en la realización de numerosas reformas durante la etapa visigoda y, ya en el llamado impás islámico, se produjo el abandono de la sede episcopal, no recuperada hasta la etapa contemporánea y materializada en otro emplazamiento urbano. Esta área fue prontamente ocupada durante el período carolingio y, ya en plena época medieval, se produjo la implantación de una Canónica agustiniana que desarrolló un ambicioso programa arquitectónico que, en esencia, se ha mantenido hasta nuestros días. Mientras que las iglesias de Sant Pere y de Santa María fueron intensamente reformadas, la de Sant Miquel mantuvo su construcción original prácticamente intacta. Actualmente la Seu d'Ègara es una subsele del Museu de Terrassa y el centro parroquial del barrio de Sant Pere. De las tres iglesias, la de Sant Miquel, según advocación medieval, es la mejor conservada y su historiografía muestra un gran interés por parte de arqueólogos, historiadores del arte y arquitectos (7) (8).

La Iglesia de Sant Miquel es una construcción de planta cuadrada, articulada en su interior mediante una planta central en cruz griega inscrita. Adosados al cuerpo central se hallan un ábside por el costado occidental, con una cripta subterránea trilobulada bajo el mismo. Los otros tres costados forman un corredor funerario perimetral semicubierto. En la escenografía del recinto episcopal, el ábside permanecía oculto en el lado opuesto al recinto público que permitía el tránsito entre todas las iglesias. El pórtico perimetral, actualmente conservado a nivel de zócalo, constituía un elemento volumétrico relevante, aunque con escasa incidencia en la estática del edificio. Recientes interpretaciones apuntan que, a pesar de ser un zócalo corrido en los tres costados, el pórtico pudiera desarrollarse únicamente en las tres puertas de acceso (5). Junto a estas entradas se hallan contrafuertes en el zócalo y en los muros de fachada. De este modo, imaginamos pequeños pórticos sobre pilastras y columnas cuyas volumetrías ensalzaban, junto al ábside, la percepción de una cruz griega. Desconocemos su altura, si bien la presencia de ventanas en el centro de la fachada la limita a una medida inferior a los 3,80 m. Finalmente, mencionar una posible capilla o sala funeraria en un extremo del corredor y alejado del patio central.



Figura 1. Iglesia de Sant Miquel de Terrassa; a. Vista general exterior; b. Vista interior de la cúpula central y la columnata.

El interior de la iglesia se articulaba entorno un módulo central coronado por una cúpula semiesférica y cuya cubierta exterior constituía el punto más elevado del edificio. Este ámbito se sostenía por ocho columnas integradas por piezas expoliadas de otros edificios y destaca, como elemento relevante en la arquitectura visigoda hispánica, el uso de cuatro trompas de transición entre la planta cuadrada y el remate semiesférico. Además, el alzado superior de la cúpula, de mampostería regular en cal, incorpora cuatro arcos de descarga de piedra que transmiten las cargas principales en las columnas esquineras inferiores a la vez que facilitaron la abertura de ventanas de iluminación. Además, entre las columnas esquineras se colocaron otras de menor diámetro que permitían el desarrollo de un doble arco para cada uno de los laterales del cuerpo central. Son arcos de medio punto sobrepasado gracias a la incorporación de machones por encima de los cimacios que otorgan una verticalidad proporcional al cuerpo superior de la cúpula. Mientras que los machones de las columnas esquineras eran de piedra, en las columnas centrales estos eran de ladrillo.

Desde la cúpula central se desarrollaron una serie de ocho pequeñas cúpulas en las partes laterales más otra en el ábside externo. Todas estas cubiertas descansaban, mediante arcos de piedra, entre la columnata central y los muros perimetrales del cuerpo cuadrangular. Para acentuar la percepción de una cruz griega, las cúpulas de los laterales tenían una altura superior a la de las esquineras, a la vez que prolongaban la visual mediante los pórticos anteriormente mencionados. Cabe mencionar que, junto a la cúpula central, sólo se han conserva-

do las cúpulas originales en tres esquinas, todas ellas cúpulas de obra de fábrica de piedra de mediano tamaño, que reposan sobre los muros del edificio y los arcos interiores. El resto de espacios se reconstruyeron con otra cúpula esquinera (1617) más cuatro bóvedas de arista y fábrica de ladrillo dispuesto de canto (entorno a los años 1616-1617) (5) (Figura 2).

En relación a la cubierta superior del edificio, obras de restauración recientes permiten sugerir, por encima de las bóvedas, el uso de una estructura originaria de madera como soporte de una protección de tejas, hoy desaparecidas. Finalmente, un aspecto que no podemos valorar, por la ausencia de evidencias claras, es la función o relevancia de los pórticos externos como contrafuertes de los empujes laterales de las cubiertas de altura intermedia.

La evolución histórica del edificio no está exenta de trabajos de restauración, si bien estos no han afectado en exceso a su configuración original. Las primeras actuaciones de restauración conocidas corresponden al párroco Joan Arnella (1611-1639) (9), que intervino básicamente en la fachada sud y en la mencionada reforma de las cubiertas. La fachada sur se hallaba muy degradada y tuvo que ser rehecha mediante una obra de sillarejo diferente al original, además del engrandecimiento de la puerta de acceso. Los primeros trabajos arqueológicos corresponden a Fèlix Torres i Amat (1818), aunque no se ha conservado su documentación. Fueron las actuaciones arqueológicas y de restauración promovidas por Josep Puig i Cadafalch (1906-1933) las que consiguieron una gran promoción internacional del conjunto (10). Entre los años 1975 y 1980 las



Figura 2. Fotogrametría de las bóvedas y cúpulas interiores; a. restauración de 1616; b. restauración de 1617; c. restauración de 1617 con revoco de mortero de 1929; d. tapiado de una linterna superior moderna en 1929; e. estructura original intacta.

cubiertas de los edificios fueron rehechas bajo la dirección técnica de Jordi Ambròs y el patrocinio del Ministerio de Cultura. Durante su realización se documentaron indicios de una cubierta de teja de doble vertiente, posiblemente la original, más indicios de una bóveda de cañón que podría relacionarse con la construcción románica. La última fase de cubierta correspondería entonces a los trabajos de Joan Arnella (11).

Finalmente se produjo la redacción y ejecución del Pla director del conjunt monumental de les esglésies de Sant Pere de Terrassa (1998-2008), cuyas excavaciones arqueológicas fueron llevadas a cabo por Gemma García Llinares, Antonio Moro y Francesc Tuset. Esta tarea ha definido el marco interpretativo histórico que enmarca este documento y permitió el desarrollo del actual proyecto de musealización y urbanización de la subsele del Museu de Terrassa, elaborado por el Servei de Patrimoni Arquitectònic de la Generalitat de Catalunya bajo la dirección técnica del arquitecto Alfred Pastor (12) (13).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Documentación mediante SCMD

Este estudio se ha realizado a partir de los datos geométricos obtenidos mediante el uso combinado de SCMD. Básicamente se ha utilizado el escáner láser para la definición geométrica, mientras que la fotogrametría digital se ha usado para dar textura fotográfica y definir la geometría de aquellas zonas no accesible mediante LIDAR terrestre (básicamente los tejados) (Figura 3). En el interior se han realizado 9 estacionamientos con un escáner de tiempo de vuelo (Leica Scan Station C-10), obteniéndose un modelo de 350 millones de puntos, con una densidad media de 1 punto cada 5 mm. En el exterior se realizaron otros 10 estacionamientos, situados a unos 5 metros del edificio, obteniéndose un modelo de 125 millones de puntos a una resolución de 1 punto cada 7 mm.

Para documentar las cubiertas del edificio se recurrió a la fotogrametría, utilizando un hexacóptero Aibot X6 utilizando como sensor una cámara fotográfica Nikon D600 de 24,3 megapíxeles, a partir de la cual se ha realizado un video del proceso técnico ([https://www.youtube.com/watch?v=8\\_E1C4JQZNk](https://www.youtube.com/watch?v=8_E1C4JQZNk)). Los datos LIDAR se procesaron mediante el software Cyclone v.9.2 ([https://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone\\_6515.htm](https://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone_6515.htm)), mientras que se generó el modelo tridimensional a partir de las imágenes fotográficas

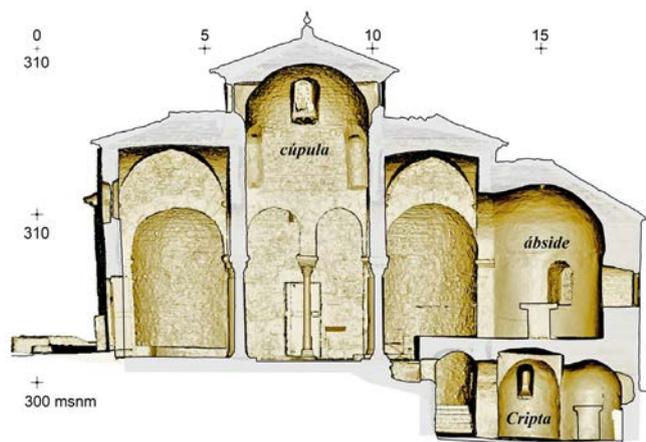


Figura 3. Sección E-O a partir del escaneo láser.

y el software Photoscan v.1.2.6 (<http://www.agisoft.com>). Todos los modelos se han georeferenciado con coordenadas UTM, gracias al uso de un total de 21 puntos de control definidos con una estación topográfica. Con esto se consiguió crear un modelo general (interior y exterior) de nube de puntos perfectamente coherente. Los datos obtenidos fueron tratados con el software 3Dresaper ([www.3dresaper.com](http://www.3dresaper.com)), con el que se generó una doble malla, una interior de 6.450.000 triángulos y una exterior de 1.730.000 triángulos que definía geoméricamente la totalidad del edificio. Los análisis gráficos se han realizado usando este mismo programa.

#### 3.2. Análisis formal de muros, bóvedas y cúpulas

El análisis tiene por objetivo analizar el estado actual de los principales elementos constructivos desde un punto de vista formal, y caracterizar los posibles movimientos que ha sufrido la estructura. De este modo, elaboramos un modelo interpretativo sobre el comportamiento de los elementos de soporte desde la etapa visigoda. Así, el estudio se centra en primer lugar, en los elementos verticales (muros y pilares).

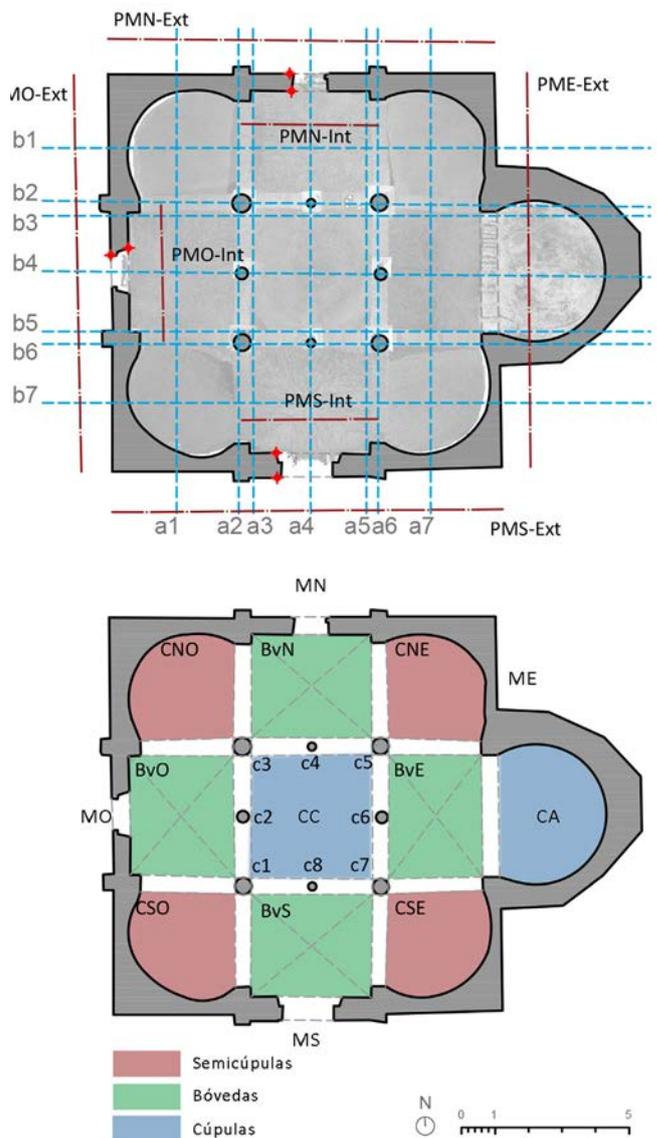


Figura 4. Nomenclatura a) planos de sección y de comparación, b) elementos analizados.

La excavación arqueológica del entorno del edificio demuestra que no ha habido movimientos en la base de edificación, mientras que, ante la lógica inexistencia de documentación técnica del período visigodo, se establece la hipótesis de partida de que inicialmente los elementos se hallaban perfectamente aplomados.

La metodología toma como referencia inicial los estudios realizados en la iglesia románica de Santa María en Portonovo (14) y la iglesia paleocristiana de Cantalovo (15), ambos basados en el análisis de edificios históricos con un levantamiento topográfico con un Terrestrial Laser Scanner. En los dos casos para realizar los estudios de deforma-

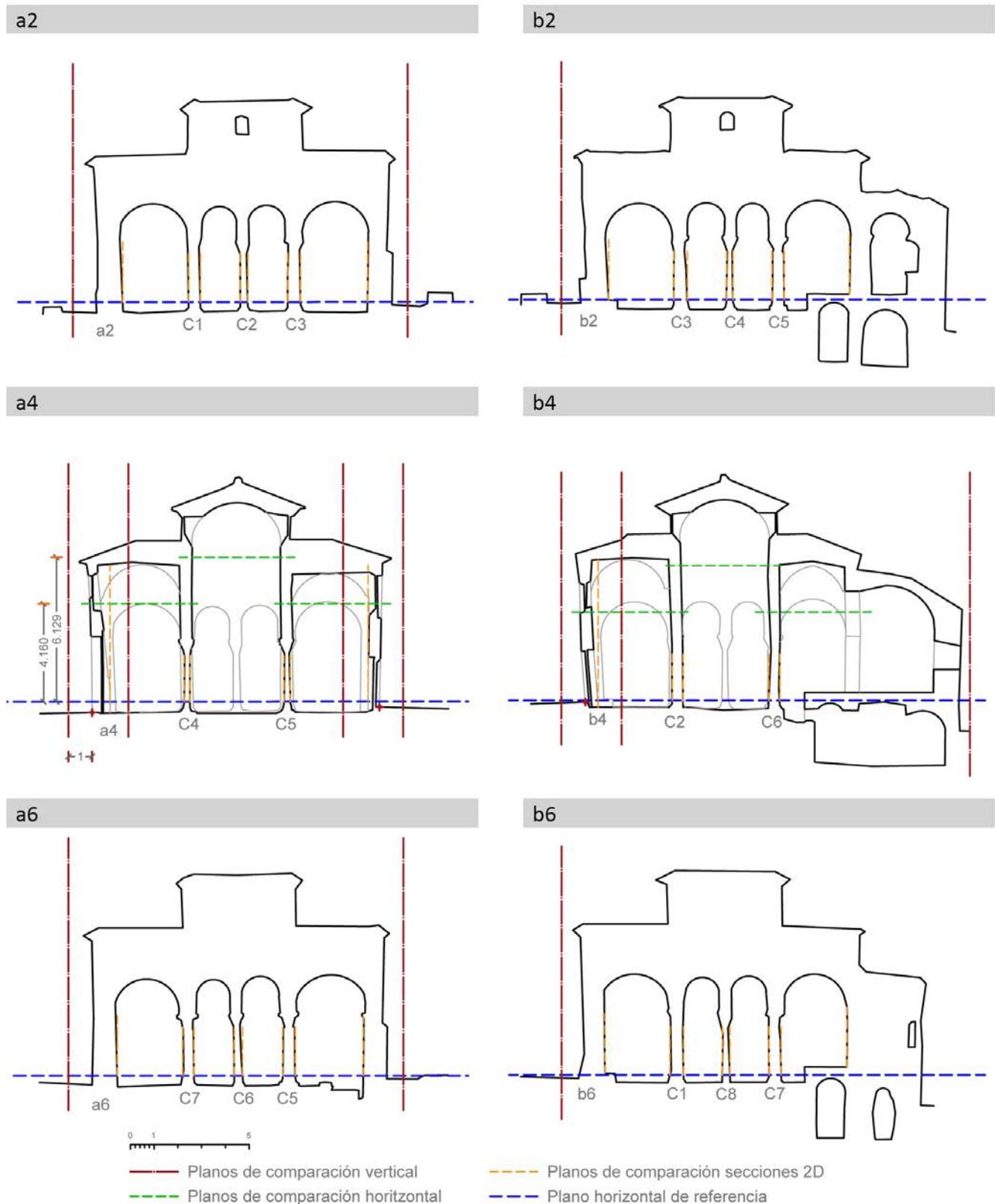


Figura 5. Secciones analizadas y planos de comparación para el estudio 3D y 2D.

ción se utilizaron secciones lineales (horizontales y verticales) y primitivas de referencia (básicamente cilindros y planos), buscando la que mejor aproxima la nube de puntos de cada elemento. Tal y como se indica en el caso de Portonovo, estas primitivas no pueden considerarse como verdaderamente representativas, y requieren de interpretación. Las formas primitivas se utilizaron para analizar las cúpulas (central y ábside), y se planteó una simplificación alternativa para trazar los planos de comparación y obtener información cualitativa de los desplazamientos del resto de elementos.

El estudio con mapas de desplazamientos de Terrassa se realiza con el programa 3DReshaper, y se distinguen los siguientes elementos constructivos: muros perimetrales, bóvedas, semicúpulas y cúpulas. Las primitivas de referencia en éstas últimas responden a la esfera, mientras que en el resto de elementos se han limitado a planos, ya que las bóvedas son de crucería y no hay una primitiva que se les pueda asociar, y las semicúpulas tienen una forma muy irregular que no responde a una sección de esfera.

Así, para el estudio de bóvedas y semicúpulas se realiza una comparación respecto a planos horizontales de referencia con el objetivo de evidenciar cualitativamente las diferencias formales entre ellas. Se establecen 2 planos (uno para bóvedas y otro para semicúpulas), cada uno situado en la cota de arranque más baja para cada tipología. Para las cúpulas, se obtiene la esfera que mejor aproxima la malla por medio del comando correspondiente del 3DRehsaper (Tabla 1).

**Tabla 1.** Valores dimensionales del estudio por formas primitivas de las cúpulas.

	Nº Puntos	Radio esfera (m)	Vol. esfera (m³)
Cúpula Central	124892	2.001	33.584
Cúpula Ábside	142203	2.147	41.473

En el caso de los muros, se analiza la cara exterior de los paramentos, y la sección recta del interior. La definición de cada plano de comparación se realiza a partir de la unión de los puntos extremos de cada muro en la base, los cuales definirán la dirección (x, y), y el eje (z) se establece según el vector perpendicular al plano horizontal del eje de coordenadas. Para situar el plano de comparación se adoptó, para cada fachada, el criterio común de colocar el plano de referencia tomando como punto (0,0,0) la base de la puerta y desplazándolo 1 m hacia el exterior, para evitar valores negativos.

Las secciones verticales se utilizan para cuantificar los desplomes sufridos por los muros. Se define una cota de referencia común situada en la esquina Norte-Oeste, ya que es donde la cota de encuentro del muro con el plano del suelo es más alta. Se realizan 7 secciones para cada eje axial de la planta. Complementariamente, también se identifican las diferencias de altura en las bóvedas de arista en puntos seleccionados que definen su geometría. Se establece una nomenclatura para cada una de las secciones, así como para los muros y bóvedas de arista, según su orientación (Figura 4).

La Figura 5 sintetiza la ubicación de los planos de comparación para el trazado de los diagramas de deformación, así como los planos de referencia para cuantificar los desplomes extremos de muros y columnas.

#### 4. RESULTADOS

Según el análisis tridimensional realizado, en las cúpulas los diagramas por comparación muestran ciertas alteraciones formales respecto a la esfera ideal que mejor aproxima la nube de puntos, siendo los rangos de distancias con un porcentaje de puntos mayor [-0,039 / +0,0042 (51% de puntos)] en el caso de la cúpula central, y de [+0,0046 / 0,047 (49.7% de puntos)] en la cúpula del ábside (Figura 6). En cuanto a las semicúpulas situadas en las esquinas, los diagramas de distancias evidencian las diferentes pendientes y alturas entre ellas (Figura 7). También llama la atención el acabado más liso de la cúpula situada en la esquina Sur-Oeste, consecuencia de una de las restauraciones (1617; 1929). Estas diferencias en altura son más acentuadas en las bóvedas de arista, donde se observan claramente las distintas alturas a las que están construidas, además de las asimetrías en cada una de ellas.

En cuanto a los muros de cierre, en la cara exterior se observa como las principales deformaciones se concentran en el tramo central de los muros Sur (MS) y sobretodo Oeste (MO). El muro Norte (MN) presenta un sutil desplome, así como el muro Este (ME), que es donde se encuentra el ábside. La cara interior de los muros es curva en las crujías laterales, por lo que solo se analiza la parte central, donde está ubicada la puerta. Los diagramas muestran cómo los desplazamientos entre ambas caras no son correlativos, por lo que se constata que estas no son paralelas (Figura 8).

Por otra parte, en base a las secciones realizadas, se analiza de forma cuantitativa el desplome de la cara exterior de los pa-

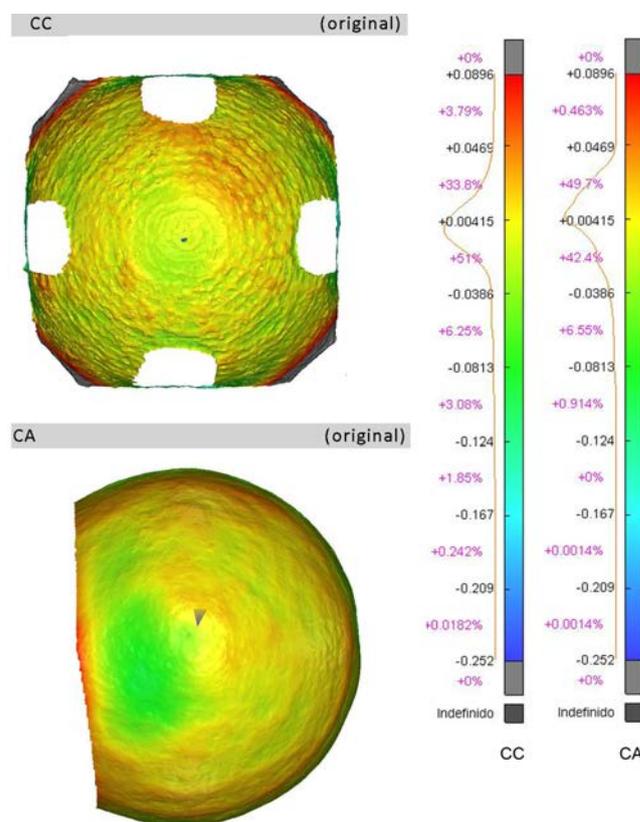


Figura 6. Diagramas de deformación de cúpulas.

ramentos, ya que la cara interior presenta cambios de sección entre las cotas inferior y superior que distorsionan la interpretación de los resultados. El desplome máximo identificado es de 0,27 m, en la sección b4 del muro MO, que en general es el más desplomado, tal y como se puede observar en el valor promedio de los desplomes (0,193 m) (Tabla 2). Los valores

indicados en las secciones (b2-b6) del muro ME, corresponden al muro de cierre del ábside, e indican el desplazamiento según el eje de la sección, de forma que los resultados no son comparables con los otros, ya que por geometría este tiene mayor estabilidad, y está sometido a esfuerzos distintos. Por otra parte, el muro menos deformado es el muro MN.

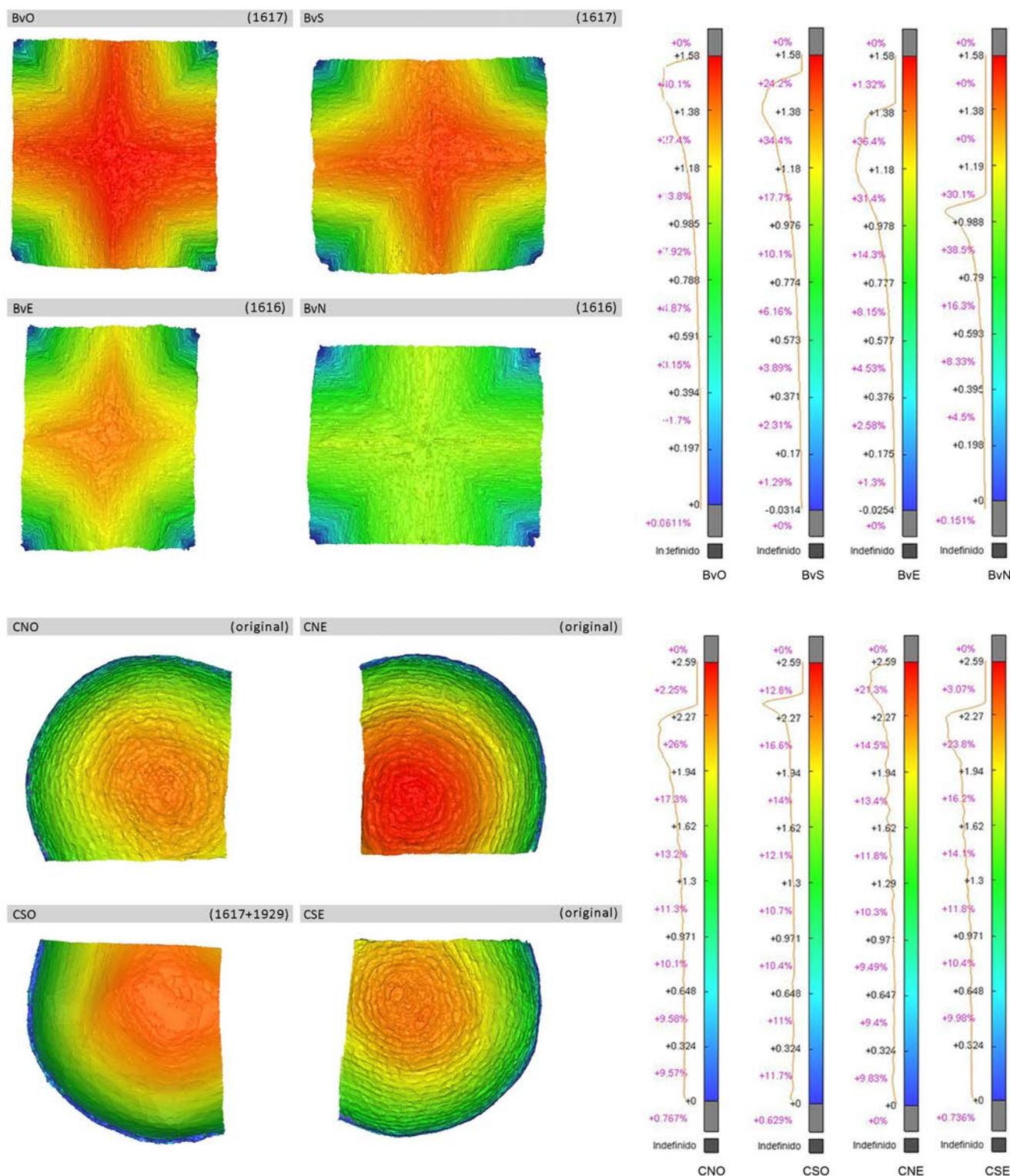


Figura 7. Diagramas de deformación de bóvedas y semi-cúpulas.

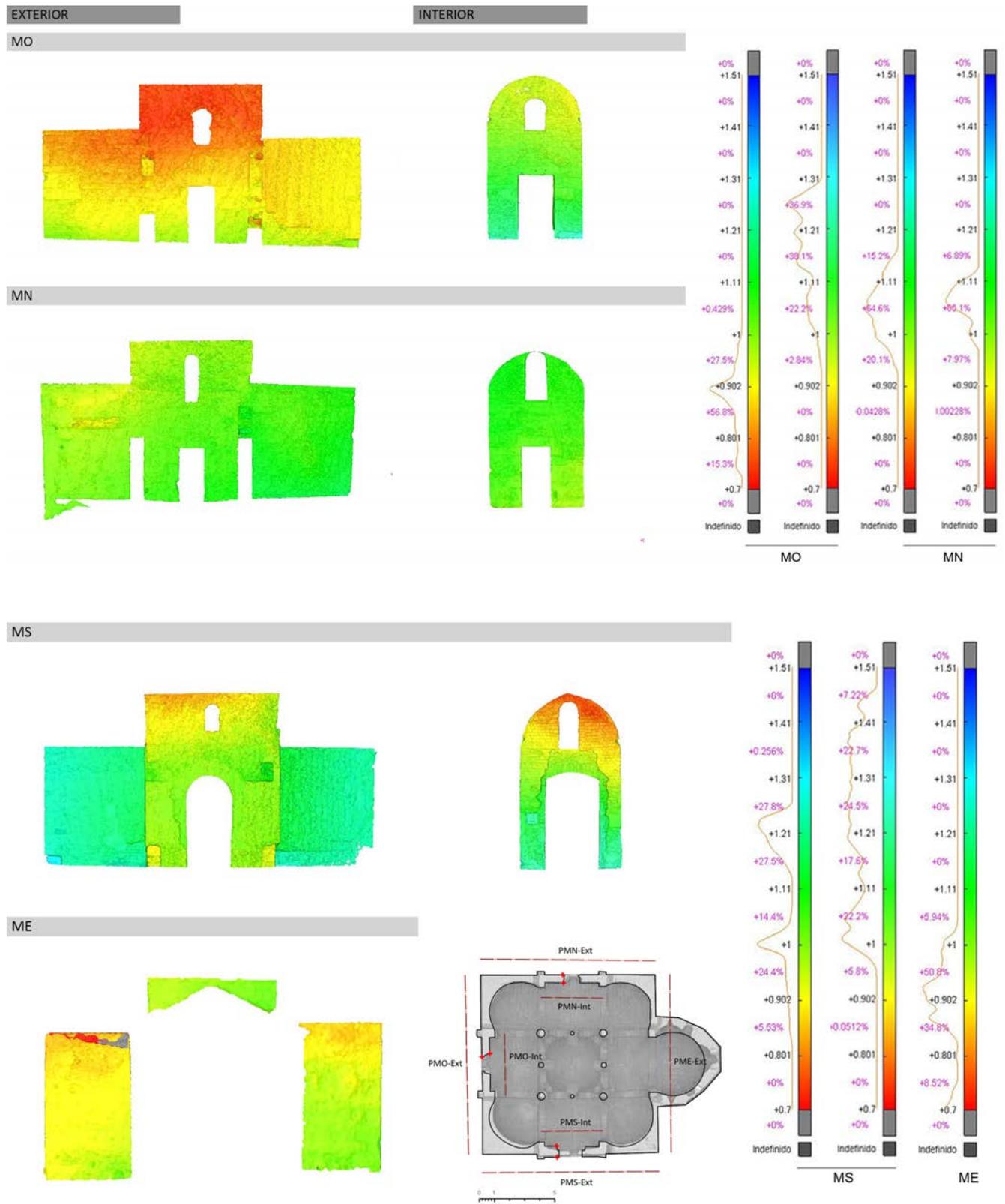


Figura 8. Diagramas de deformación de los muros perimetrales.

**Tabla 2.** Desplomes (D) identificados en los muros, en relación con su altura (H) (unidades en m).

	Muro MN			Muro MS		
	D	H	Rel	D	H	Rel
a1	0,091	4,339	0,021	0,000	4,293	0,000
a2	x	x		0,176	6,174	0,029
a3	0,100	6,018	0,017	0,185	6,174	0,030
a4	0,097	6,018	0,016	0,179	6,174	0,029
a5	0,096	6,018	0,016	0,097	6,174	0,016
a6	x	x		0,000	6,174	0,000
a7	0,052	4,339	0,012	0,052	4,293	0,012
<b>MAX</b>	<b>0,100</b>		<b>0,021</b>	<b>0,185</b>		<b>0,030</b>
<b>PROM</b>	<b>0,087</b>			<b>0,098</b>		

	Muro MO			Muro ME		
	D	H	Rel	D	H	Rel
b1	0,167	4,339	0,038	0,105	5,571	0,019
b2	0,212	6,018	0,035	0,107	5,000	0,021
b3	0,227	6,018	0,038	0,078	5,000	0,016
b4	0,270	6,018	0,045	0,049	5,000	0,010
b5	0,235	6,018	0,039	0,154	5,000	0,031
b6	0,125	6,018	0,021	0,187	5,000	0,037
b7	0,086	3,990	0,022	0,130	5,166	0,025
<b>MAX</b>	<b>0,270</b>		<b>0,045</b>	<b>0,187</b>		<b>0,037</b>
<b>PROM</b>	<b>0,193</b>			<b>0,118</b>		

También se analizan los movimientos de las columnas interiores, donde se comprueba que los movimientos sufridos han sido independientes entre ellos y que se han producido en los dos ejes axiales. Los valores en general son bajos, siendo (0,083 cm) el mayor desplome en la sección (b2), columna (C3).

En cuanto a las bóvedas, se han registrado las alturas de los puntos extremos de los ejes axiales (A-C) y la clave (B) (Figura 9). El rango de alturas identificadas en cada punto de las cuatro bóvedas respecto a la cota 0 de referencia, es de (5,36-5,90 m) en los extremos, y de (5,44-5,96 m) en la clave, lo cual implica una diferencia de (0,52 m) y (0,53 m) respectivamente. La diferencia promedio entre los puntos extremos y la clave es de (0,15 m).

## 5. DISCUSIÓN

Los movimientos sufridos por los elementos de soporte perimetrales no se corresponden con los percibidos en los centrales. Esto se debe a que las estructuras de obra de fábrica -columnas, capiteles, cimacios, machones y arcos sobrepasados- tienen una rigidez relativamente baja y variable según su forma, su localización en la estructura global, y el tamaño de las piezas que la conforman.

Así, el núcleo central cuadrangular, sustentado por ocho columnas (Figura 10) se ha mostrado del todo eficiente para sostener una cúpula de 3,65 m de diámetro y 2,13 m de altura (medido desde la imposta). El principal soporte viene determinado por las cuatro columnas esquineras de mayor tamaño, con un diámetro aproximado de 50 cm, mientras que las otras cuatro centrales, con un diámetro aproximado de 30 cm, tienen la función de asumir parte del peso del muro de cierre superior, reduciendo el empuje de los arcos sobre las columnas esquineras. Cabe destacar que los machones esquineros estaban elaborados en piedra mientras que los centrales eran grandes ladrillos cerámicos. Se ha comprobado la existencia de movimientos independientes entre las columnas, con unos valores de los desplomes bajos, presuntamente compensatorios.

La comparativa de las caras interna y externa de los muros muestra que no son paralelas, indicando que la reconstrucción de las cubiertas también afectó al paramento externo, mientras que la cara interna del muro mantenía en mayor parte el aparejo original. Esta realidad es más evidente en el paramento externo del muro meridional de la iglesia, rehecho en este periodo en su mayor parte, así como la puerta de acceso al interior.

Pero donde mayor trascendencia ha tenido el paso del tiempo ha sido en las bóvedas del edificio. No hay datos al respecto de cómo, pero estos cuatro elementos colapsaron y tuvieron que ser reconstruidos a inicios del siglo XVII, utilizando fábrica de ladrillo. Las principales deformaciones identificadas se centran en las partes centrales de los muros Oeste (MO) y Sur (MS), cuyas bóvedas en arista fueron construidas hacia el año 1617. Destacan también las diferentes alturas a las que fueron reconstruidas las bóvedas, siendo éstas (BvO y BvS), las situadas a mayor altura, con una diferencia aproximada

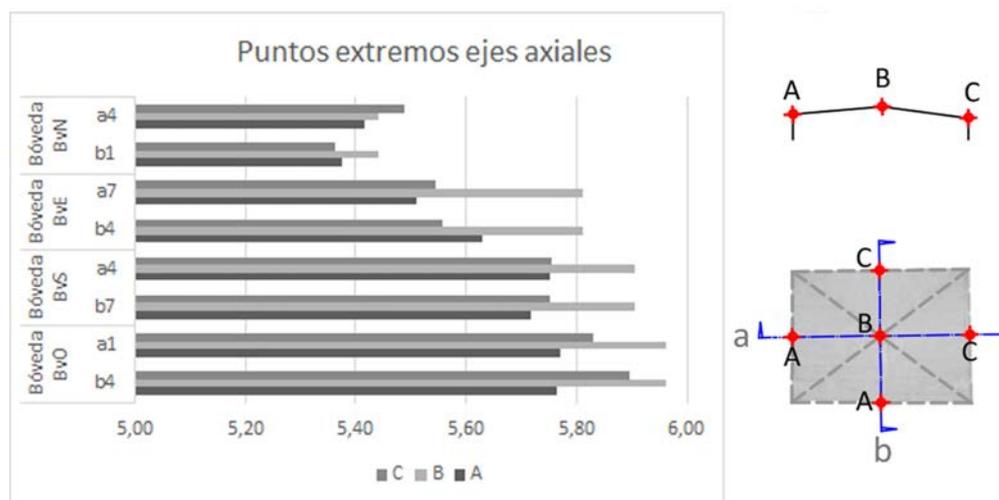


Figura 9. Alturas de puntos singulares de las bóvedas.

de medio metro respecto a la más baja (BvN). Esta ubicación tiene un efecto desfavorable en el equilibrio global.

Además, en el caso de la bóveda (BvO), los puntos extremos están situados a diferente altura, siendo el apoyado sobre el muro perimetral el más bajo. Esta disposición indicaría que

el asiento de la bóveda en este punto es debido al desplome del muro, por lo que la bóveda estaría construida antes de que se produjera el desplome. En este contexto, también destacar que la semicúpula situada en la esquina Sur-Oeste, también reconstruida en el s. XVII, se corresponde con los principales desplomes de los muros perimetrales.

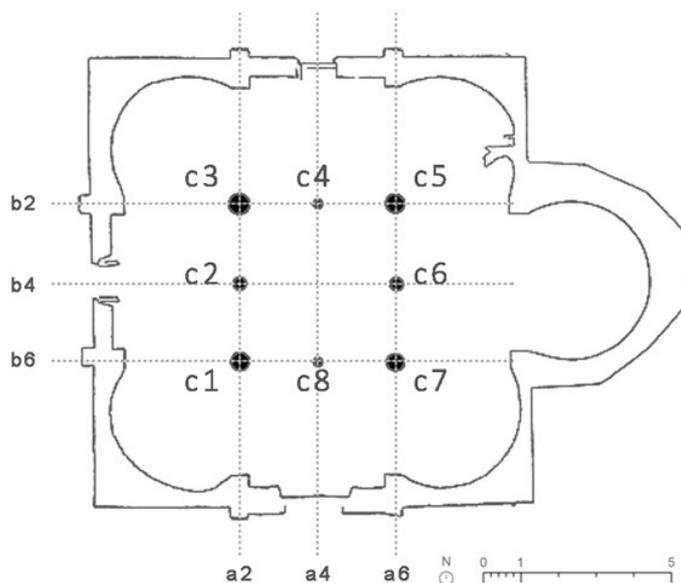
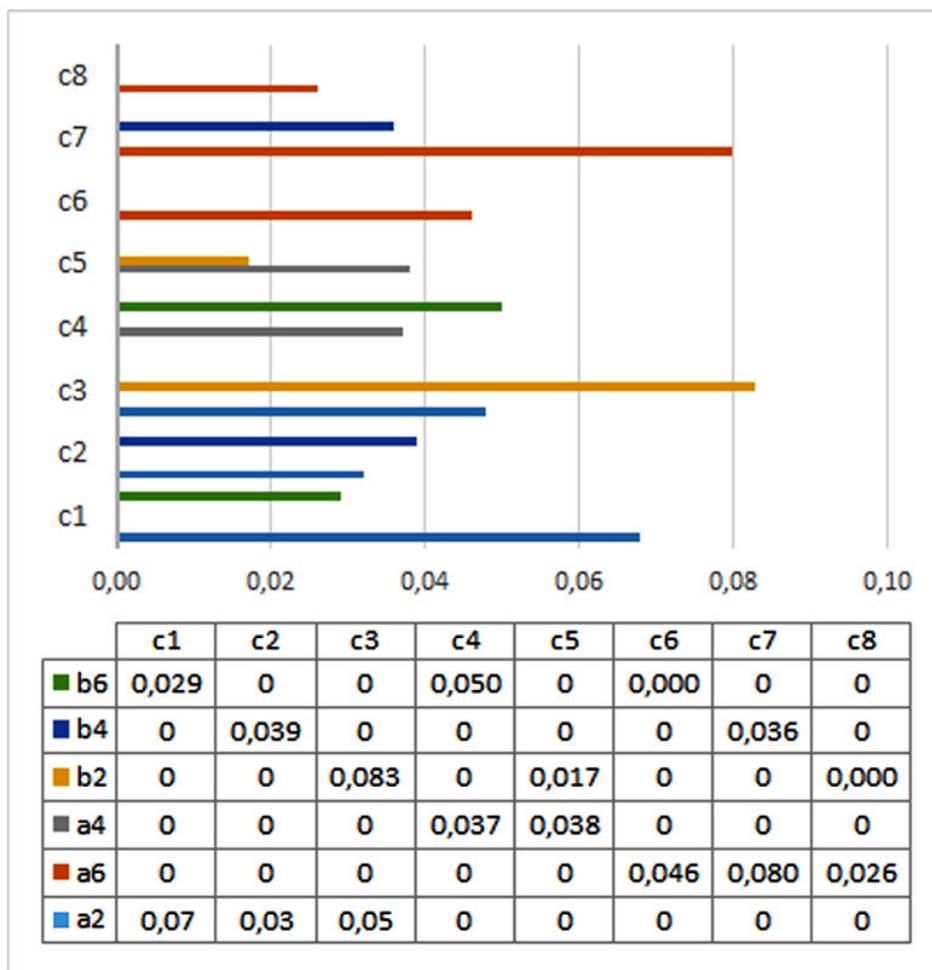


Figura 10. Desplomes de las columnas (m).

## 6. CONCLUSIONES

El análisis realizado ha permitido identificar los movimientos de los elementos de soporte y del cierre con bóvedas y cúpulas de obra de fábrica. No los discrimina o periodiza, pero la información puede ser cotejada con los datos de otros análisis, como el de las técnicas y materiales constructivos para seguir profundizando en la historia constructiva del edificio. De este modo, las conclusiones obtenidas aportan elementos de validación a la estratigrafía relativa de los elementos constructivos, que se pueden determinar a partir de la subdisciplina de la Arqueología de la Arquitectura. Paralelamente, el conocimiento historiográfico sobre las evoluciones experimentadas en esta iglesia, se relaciona con los datos obtenidos sobre los posibles desplazamientos.

La investigación ha permitido cuantificar los desplomes sufridos por los muros, los cuales aparentemente habrían provocado el colapso de las cúpulas originales situadas en las crujeas perimetrales de la cruz griega. Sorprende especialmente la reconstrucción de la bóveda del muro Este (ME), donde la

existencia del ábside, y de su cúpula original, funcionan como elemento rigidizador. Sorprende también la construcción de las cuatro bóvedas a diferente altura, situación que no ha encontrado respuesta en el análisis realizado, si bien las dos más altas y las dos más bajas fueron construidas en el mismo año (1617 y 1617 correspondientemente) Así, los resultados obtenidos establecen la base para un estudio analítico de las condiciones de equilibrio de la estructura y facilitan la individualización de los diferentes materiales usados en los paramentos exteriores, fruto de diversas actuaciones históricas.

## AGRADECIMIENTOS

Este documento forma parte de la actividad de los proyectos Parámetros analítico-evolutivos de las técnicas constructivas del noreste de la Tarraconense en época tardoantigua: homogeneización, criterios de representación y calibración (HAR2015-64392-C4-2P MINECO-Feder) y Proyecto de recerca arqueològica al conjunt de les esglésies de Sant Pere de Terrassa. Vallès Occidental. Antiga Ègara (DGPC-2014/100748).

## REFERENCIAS

- (1) Pavlidis, G., Koutsoudis, A., Fotis, A., Vassilios, T., Christodoulos, C. (2007). Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(1): 93–98, doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2006.10.007>.
- (2) Kadobayashi, R., Kochi, N., Otani, H., Furukawa, R. (2004). Comparison and evaluation of laser scanning and photogrammetry and their combined use for digital recording of cultural heritage. En *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives)*, 35(5), 401-406.
- (3) Grussenmeyer, P., Landes, T., Voegtli, T., Ringle, K. (2008). Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings. En *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives)*, 37(B5): 213–218.
- (4) Pandžić, J., Pejić, M., Božić, B., Erić, V. (2017). Error model of direct georeferencing procedure of terrestrial laser scanning. *Automation in Construction*, 78(June): 13–23, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.003>.
- (5) García Llinares, G., Macias, J.M., Moro, A. (2017). La Iglesia funeraria de época visigoda de Sant Miquel de Terrassa. Análisis Arquitectónico. En Roldán Gómez, L. et al. (coord.), *Modelos constructivos y urbanísticos de la arquitectura de Hispania* (pp. 183–198). Tarragona: Institut Català d'Arqueologia Clàssica (ICAC).
- (6) Gorostidi, D., López Vilar, J. (2016). Inscripciones visigodas en el ordo apostolorum del ábside de Sant Miquel de Terrassa (Barcelona). Evidencias a partir de los tituli picti (con laminas 6/10). En *Jahrbuch für Antike und Christentum*, (59): 114-136.
- (7) García Llinares, G., Moro, A., Tuset, F. (2009). *La seu episcopal d'Ègara. Arqueologia d'un conjunt cristià del segle IV al IX*. Tarragona: Institut Català d'Arqueologia Clàssica, Serie Documenta 8.
- (8) García Llinares, G., Moro, A., Tuset, F. (2015). L'edifici funerari de Sant Miquel. *Terme, Revista d'Història*, (30): 75–100.
- (9) Cardús, S. (1973). *Grandeses i antiguitats d'Ègara – Terrassa. Joan Arnella (1570-1639)*, (pp. 54-55). Terrassa: Patronat de la Fundació Soler i Palet.
- (10) Puig i Cadafalch, J. (1936). *La seu visigòtica d'Egara*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- (11) Ambrós, J. (1982). Obres de restauració dels edificis de la Seu de l'antic bisbat d'Egara: baptisteri de Sant Miquel. *Qua-derns d'Estudis Medievals*, 8: 491-507.
- (12) Pastor i Mongrell, A. (2001). Les directrius del Pla Director envers la restauració i l'adequació cultural de les esglésies. En *Les Esglésies de Sant Pere de Terrassa: de seu episcopal a conjunt monumental: II taula rodona* (pp.81-90). Institut d'Estudis Catalans.
- (13) Pastor i Mongrel, A. (2012). La restauración de las iglesias de Sant Pere de Terrassa: Sant Miguel i Santa Maria. *Papeles del Partal*, 5: 245-258.
- (14) Quagliarini, E., Clini, P., Ripanti, M. (2016). Fast, low cost and safe methodology for the assessment of the state of conservation of historical buildings from 3D laser scanning: The case study of Santa Maria in Portonovo (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 24(March-April): 175-183, doi: <http://doi.org/10.1016/j.culher.2016.10.006>.
- (15) Bonali, E., Pesci, A., Casula, G., Boschi, E. (2014). Deformation of Ancient Buildings inferred by Terrestrial Laser Scanning methodology: the Cantalovo church case study (Northern Italy). *Archaeometry*, 56(4): 703–716, doi: <http://doi.org/10.1111/arc.12028>.

\* \* \*