

Anomalías geométricas en la construcción de bóvedas tabicadas en los Templos salón del siglo XVIII: Sant Miquel de Batea

Geometric anomalies in the construction of tile vaults in the Hall Temples the Hall Temples the 18th century: Sant Miquel de Batea

Josep Lluís i Ginovart (*); Agustí Costa-Jover (**); Cinta Lluís-Teruel(**); David Moreno García(**); Sergio Coll-Pla (**)

RESUMEN

Durante el siglo XVIII en la Península Ibérica las bóvedas tabicadas permiten cubrir con rapidez espacios amplios requeridos por la liturgia de la Contrarreforma (1545-1648). Para determinar el comportamiento de las anomalías geométricas se ha estudiado la iglesia de Sant Miquel de Batea (1764-1800) (España), proyectada por un arquitecto académico, Fray Atanasio Aznar, conocedor del debate profesional sobre el empuje de las bóvedas tabicadas. Para su evaluación se utiliza una metodología que combina el análisis en 2D y 3D en base a una nube de puntos del edificio con técnica escáner láser terrestre (MDCT), pudiendo contrastar estos resultados con el estudio de la ejecución de la obra a través de las Capitulaciones (1764). La conclusión demuestra que pese a la buena práctica constructiva exigida y seguida en el contrato existen anomalías geométricas en la fábrica provocadas como consecuencia de los empujes producidos por la cúpula, el cimborrio y la fachada.

Palabras clave: estructuras históricas; bóvedas tabicadas; desplazamientos estructuras; laser scanner terrestre; iglesia San Miquel de Batea.

ABSTRACT

During the 18th century in the Iberian Peninsula, the partitioned vaults made it possible to quickly cover large spaces required by the liturgy of the Counter-Reformation (1545-1648). In order to determine the behaviour of geometric anomalies, we studied the church of Sant Miquel de Batea (1764-1800) (Spain), designed by an academic architect, Fray Atanasio Aznar, who was familiar with the professional debate on the thrust of the vaults. For its evaluation, a methodology is used that combines 2D and 3D analysis based on a point cloud of the building with a terrestrial laser scanner technique (MDCT), and these results can be contrasted with the study of the execution of the work through the Capitulations (1764). The conclusion shows that despite the good construction practice required and followed in the contract, there are geometric anomalies in the masonry caused by the thrusts produced by the dome, the dome, and the façade.

Keywords: historical structures, tile vaults, displacements structures, terrestrial laser scanner, St. Miquel of Batea Church

(*) Universitat Internacional de Catalunya, Barcelona (España).

(**) Universitat Rovira I Virgili, Tarragona (España).

Persona de contacto/Corresponding author: jluis@uic.es (Josep Lluís i Ginovart)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5957-762X> (J. Lluís), <http://orcid.org/0000-0002-6194-3243> (A. Costa), <http://orcid.org/0000-0002-5280-1147> (C. Lluís); <https://orcid.org/0000-0002-5322-8143> (D. Moreno); <http://orcid.org/0000-0002-4718-5810> (S. Coll).

Cómo citar este artículo/Citation: Lluís i Ginovart, Josep; Costa-Jover, Agustí; Lluís-Teruel, Cinta; Moreno García, David; Coll-Pla, Sergio (2022). Anomalías geométricas en la construcción de bóvedas tabicadas en los Templos salón del siglo XVIII: Sant Miquel de Batea. *Informes de la Construcción*, 74(568): e468. <https://doi.org/10.3989/ic.91267>

Copyright: © 2022 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: 21/09/2021
Aceptado/Accepted: 09/04/2022
Publicado on-line/Published on-line: 17/11/2022

1. INTRODUCCIÓN

A partir de finales del siglo XVI y especialmente en el siglo XVIII se construyeron en la Península Ibérica gran cantidad de iglesias inspiradas por la liturgia de la Contrarreforma (1545-1648). Se conocen como iglesias salón, promovidas para la aproximación de la Palabra del clérigo, a los fieles, buscando así la unidad espacial. Estos templos disponen de unas luces estructurales importantes y unos plazos de ejecución cortos, entorno al quinquenio. El sistema constructivo que responde a estas demandas es el de las bóvedas tabicadas, ejecutado mediante la acción combinada de hiladas de rasillas de ladrillo (0,015-0,0200 m) de espesor. La primera de estas hojas cerámicas forma el intradós, está tomada con pasta de yeso con las rasillas dispuestas a tabla y tangente a la directriz de la bóveda. Las capas superiores colocadas a mata juntas y en diferentes direcciones. Esta construcción cohesiva utiliza el yeso como conglomerante, que amasado con agua produce la rehidratación y cristalizando con un aumento de temperatura y del volumen, provocando a corto plazo una buena resistencia.



Figura 1. Bóveda tabicada Iglesia de Sant Miquel de Batea (1764-1800).

Este tipo constructivo está documentado en la provincia de Murcia desde el siglo XII, en Siyasa (Cieza) (1) y utilizado en la Corona de Aragón desde el siglo XIV (2), extendiéndose su uso a construcción de Templos de Valencia (3), Cataluña (4) y Aragón (5). Se difunde a nivel internacional a través del *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction applied especially to the timbrel vault* (1892) de Rafael Guastavino Moreno (1842-1908) (6), definiendo la construcción cohesiva, como aquella que se realiza por la asimilación de los diferentes materiales mediante los morteros de yeso y cal.

El Conde Félix François de Espié (1708-1792) en la *Maniere de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles* (1754), instruye en la utilización de bóvedas tabicadas para salvaguardar la Plazas fuertes del fuego enemigo, aduce que estas bóvedas no producen empujes por su funcionamiento monolítico (7). Contrariamente, en la Censura de Ventura Rodríguez (1717-1785) en la traducción española *Modo de hacer*

incombustibles los edificios (1776), realizada por Joaquín de Sotomayor (f. 1776) (8), reivindica el empuje de las bóvedas, y cuyos efectos los había comprobado tras el colapso de la cúpula del Colegio de Santa Victoria de Córdoba (1772) (9). La recepción española de Espié se había realizado a través del jesuita Christian Rieger (1714-1780) con los *Elementos de toda la arquitectura civil con las más singulares observaciones de los modernos* (1763), traducida por Miguel Benavente (1727-1793) (10) y después por Diego de Villanueva (1713-1774) Director de Arquitectura de la Academia de San Fernando (1756) con la *Colección de diferentes papeles críticos sobre todas las partes de la Arquitectura* (1766) (11).

El debate sobre la cuestión teórica del empuje de estas bóvedas ha sido abordado por: Giovanni Mochi (2001), (12), Santiago Huerta (2001) (13) (2003) (14) y revisado (2006) (15), José Luis González (2004) (16), Esther Redondo (2013) (17), Federico Iborra (2018) (18), con la clara evidencia que la construcción tabicada provoca empujes. Desde el punto de vista constructivo, las cúpulas tabicadas han sido estudiadas por Rafael Soler y Alba Soler (2015) (19) y por Juan Carlos Pérez y Beatriz Piedecausa (20). Las patologías han sido objeto de análisis, realizado por Beatriz Sáez (2013) en Valencia (21) y sus peligrosas consecuencias prácticas estudiadas por Yolanda Gil (2015) (22) y en caso de Catalunya por Ana Feu (2017) (23). Estos análisis concluyen que muchas de estos Templos presentan patologías organolépticamente destacables.

Con estos antecedentes, el objeto de estudio es la Iglesia de Sant Miquel de Batea (1764-1800) (Figura 1), por dos motivos, primero por estar proyectada por un *arquitecto de mérito* como Fray Atanasio Aznar (c.1700-1764) (24) (Figura 2).

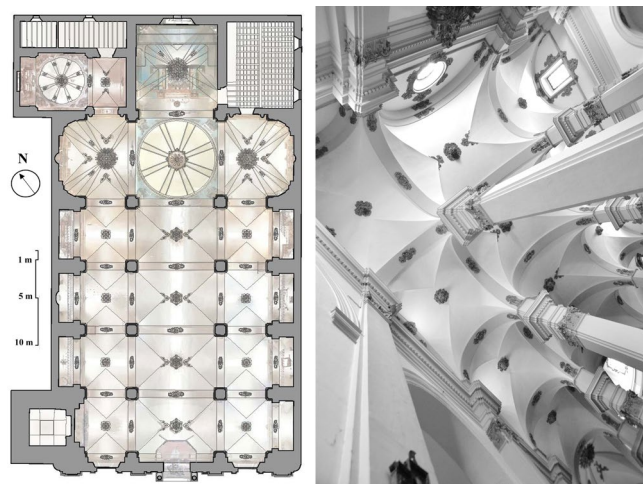


Figura 2. Planta de las bóvedas de la Iglesia salón de Batea (1764-1800).

Como académico debería conocer la obra de Diego de Villanueva donde especifica las fuentes para la construcción de bóvedas; *Arte y Uso de la Arquitectura* (1639-1665), de Fray Lorenzo de San Nicolas (1593-1679), el *Breve Tratado de todo Género de bobedas* (1661) de Juan de Torrija (1604-1666) y la *Escuela de Arquitectura Civil* (1738) de Athanasio Genaro Brizguz y Bru (1713-?) y la obra de Espié la *Maniere de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles* (25).

En segundo lugar, porque de Sant Miquel Batea a diferencia de otras edificaciones no presenta patologías importantes, quizás debido a las Capitulaciones (1764) para ejecutar la obra con gran exigencia en la elección de materiales, la secuencia de ejecución de las fases de la fábrica y el control de calidad en cuanto a los niveles y plomadas (26).

En las diócesis catalanas de Urgel, Solsona, Lérida, Tarragona y Tortosa, a la que pertenece Batea, en este período, se construyeron muchos templos con *volta de rajola doblada*, que sustituyeron a los románicos y góticos. Los artífices de estas plantas de salón conciernen a dos tipos de formación, por una parte, los ingenieros militares formados en la Academia de Matemáticas de Barcelona (1720-1803), caso de Miguel Marín Truq. (c.1700-1764), que construyó la capilla de la Universidad de Cervera (1751), Pedro Martín Zermeno (c.1721-1792) que erigió en la Barceloneta la Iglesia de Sant Miquel de Puerto (1753) y después la Seo Nueva de Lérida (1764) (27), que conocían bien la bóveda tabicada (28). Por otra y en su gran mayoría, son los “*mestres d’obres*”, “*mestres de cases*” con las excepciones del algún “*arquitecto de mérito*”, como el caso de Fray Atanasio Aznar (c.1700-1764) (Figura 3).



Figura 3. Bóvedas de la Iglesia salón de Batea (1764-1800).

Fray Atanasio Aznar (c.1700-1764) trabajó en la Iglesia de San Francisco de Alcañiz de Teruel (1738); documentado en la colegiata de Santa María la Mayor de Alcañiz (1757), iniciada en 1736, según las trazas del arquitecto zaragozano Domingo de Yarza (1680-1745), artífice que había participado en el proyecto del Pilar de Zaragoza (29); y en la Iglesia de Munébrega de Zaragoza (c.1760) (30), entorno geográfico en donde la utilización de la bóveda tabicada es muy habitual en esta época (31).

1.1. Objeto de estudio y metodología

El objeto de estudio es determinar las anomalías geométricas que se pueden producir por deformaciones y desplazamientos en las bóvedas tabicadas de la iglesia de Sant Miquel de Batea, proyectadas por un Académico, construida en pleno debate de los empujes con los textos del Conde de Espiá (1754) y Ventura Rodríguez (1776).

Se estudian las anomalías de los elementos constructivos, que permitan identificar posibles desplazamientos de la fábrica. Para la evaluación de la geometría se ha combinado una metodología de procesos 2D y 3D, en base a un levantamiento con un escáner láser terrestre. La base topográfica permite el cotejo con el proceso constructivo determinado en las Capitulaciones (1764), y con ello se permite la reposición obra ejecutada con la obra proyectada.

El origen de las anomalías es difícil de determinar, pueden ser debidos a la ejecución de la obra, o por los desplazamientos estructurales. La calibración de los desplazamientos de las obras de fábrica puede ser determinada en función de la distorsión angular θ , y a través del índice de daño propuesto por Kwok y Ang (1987) (32). La respuesta de muros de mampostería por acciones accidentales se puede expresar en función de la energía disipada y el daño causado. Se determina un valor $\theta=0,003$, para estructuras reparables, $[0,003-0,007]$ para irreparables, y del colapso a partir de $\theta=0,007$ (33). La relación (luz/flecha) permite comprobar la validez de los criterios del CTE-SE-2 (4.3.3. Deformaciones), con las obras de fábricas antiguas. El CTE fijaría para los desplazamientos horizontales parciales para paredes y pilares unas rigideces de (1/250) y totales (1/500) y para las deformaciones de arcos de arcos y bóvedas de (1/300).

Para el levantamiento se contó con una Leica ScanStation C10, con una precisión de posición $[0,006-50\text{ m}]$ y una densidad de la nube de puntos de más de 169 millones de puntos (x, y, z). Se completó con la información RGB a través de las fotografías tomadas con una resolución de 1920 x 1920 píxeles (4 mp). Para registrar las nubes de puntos en el mismo sistema de coordenadas local, se utilizó el software Cyclone, con una desviación estándar de 0,003 m. Para generar la malla 3D del modelo a partir de los puntos seleccionados se utilizó el programa 3DReshaper. La densidad de la malla se ajustó a un tamaño de triángulo promedio de 0,025 m. El error total considerado es de 0,009 m, resultado del registro basado en el objetivo, la precisión del dispositivo y proceso de registro.

2. LA IGLESIA NUEVA DE BATEA (1764-1800)

La iglesia de Batea sustituyó al templo románico consagrado por el obispo Gombau de Santa Oliva (+1213), por el dictamen de la ruina de (25-I-1763) de la fábrica medieval de Joaquín Colera (+1809) y su hijo Miquel Colera (34). La primera piedra se coloca el (29-IX-1764), festividad de San Miguel Arcángel, consagrándose el (15-VIII-1800), día de la Asunción, copatronos de la advocación del templo y de la Villa. Fray Atanasio Aznar (c.1700-1764) realiza la primera traza de la Iglesia Nueva, después Fray Damián de los Apóstoles (1704-1780), rectificó la fachada y campanario, aunque el principal artífice constructor fue el maestro Francisco Melet Pla (1717-1814), quién se compromete a ejecutar la obra de acuerdo con las Capitulaciones (1764). Este maestro había participado en prolegómenos de los proyectos para la Catedral de la Asunción de Lérida (1761) (35), construyó el Templo de la Asunción de Amposta (1773) (36), la Sacristía Mayor de la Catedral de Tortosa (1775) (37), y de la iglesia parroquial de Sant Pere de Corbera (1780) (38).

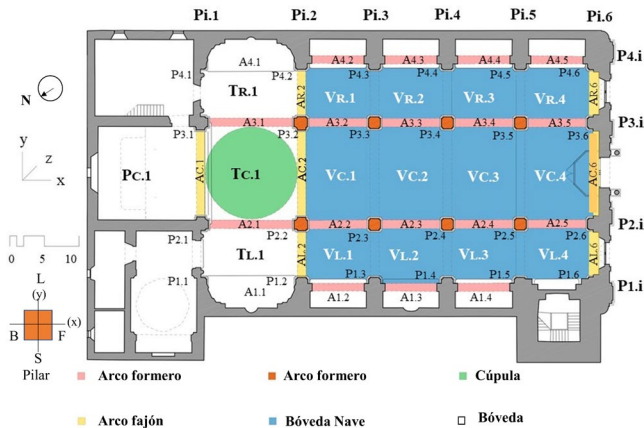


Figura 4. Sistema constructivo Iglesia de Batea (1764-1800).

La iglesia es de planta basilical de salón en cruz latina, con el presbiterio cubierto por una bóveda de rincón con lunetos [Pc.1], adosados a éste, en la parte del evangelio la capilla de la Comunión cubierta con una media naranja, y en de la epístola, la Sacristía (Figura 4).

En el crucero, una cúpula central [Tc.1] sobre arcos torales [Ac2.1, A3.1, Ac2.2, A2.1], se sitúan dos capillas cubiertas con sendas bóvedas de rincón con lunetos [Tl.1, Tr.1]. Se disponen tres naves y capillas laterales, la nave central está cubierta por cuatro bóvedas de cañón con lunetos [Vc.1, Vc.2, Vc.3, Vc.4], en las colaterales sendas bóvedas de cañón con dos lunetos cuatro sobre la del evangelio [Vl.2, Vl.3, Vl.4, Vl.5] y cuatro más sobre la de la epístola [Vr.2, Vr.3, Vr.4, Vr.5] (Figura 5).

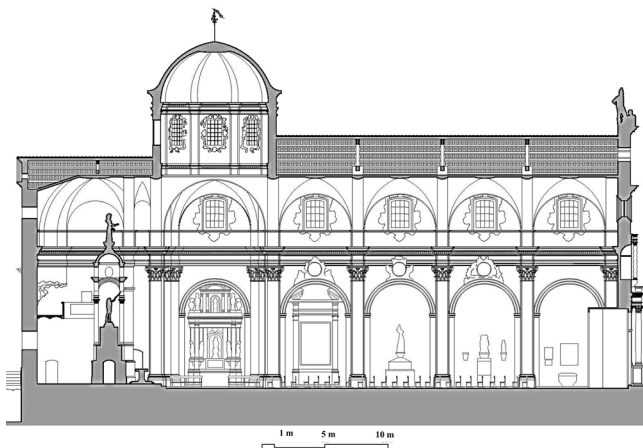


Figura 5. Sección longitudinal Iglesia de Batea (1764-1800).

2.1. Las bóvedas tabicadas del Templos Salón de Batea.

Desde el punto de vista constructivo este Templo Salón dispone de cuatro tipos de bóvedas tabicadas determinadas topológicamente, a través de la superficie en planta $S_p = m^2 \cdot s$ superficie desarrollada, $S_d = m^2$ y el volumen total desalojado $V_d = m^3$, [S_p , S_d , V_d]. (Tabla 1).

a) La cúpula del transepto, con dos hojas de rasilla, y con ocho costillas con resaltes de gajo de media naranja en el in-

tradós [Tc.1] (Tabla 1), se apoya sobre el tambor, y éste sobre las pechinas y los arcos torales [Ac2.1, A3.1, Ac2.2, A2.1].

La calota original estaba construida por una doble bóveda tabicada, sin contacto entre ellas, una interior de una hoja que actuaría por gravedad con óculo sobre el que asomaba florón actual, y una rosca de rasilla, desmontada en 1991, y la otra exterior de construcción cohesiva conservada en la actualidad (Figura 6).



Figura 6. Intradós de la calota original y cúpula actual.

b) Las bóvedas de rincón con cinco lunetos, con dos hojas de rasilla, con seis costillas en el intradós y con resaltes en el extradós [Pc.1, Tl.1, Tr.1] (Tabla 1). En el presbiterio de planta cuadrada y las del transepto de planta rectangulares. Las bóvedas están trabadas a un tercio del arranque de la flecha de la bóveda por medio de lengüetas casi planas, y en algunos casos en forma abovedada. En el extradós de las bóvedas se dispone de resaltes del grueso de una rasilla, construidas en la intersección con los lunetos, en el encuentro con los arcos. En la directriz superior se observan una eminencia en forma de clave. (Figura 7).



Figura 7. Extradós bóvedas de rincón con lunetos transepto [Tl.1, Tr.1].

c) Bóvedas de cañón con dos lunetos de la nave central, de dos hojas de rasilla, y con resaltes en el extradós [Vc.1, Vc.2, Vc.3, Vc.4] (Tabla 1). El conjunto de las cuatro bóvedas centra-

les gravita longitudinalmente sobre los arcos formeros [A_{2.2}, A_{2.3}, A_{2.4}, A_{2.5}], [A_{3.2}, A_{3.3}, A_{3.4}, A_{3.5}], trabándose a dos tercios de la flecha en el contorno donde descansan. Se apoyan transversalmente sobre el arco toral el cimborrio [A_{C2.2}] y el arco fajón de la fachada [A_{C2.6}]. Se asientan en la parte inferior de la sección de la rosca de los diez arcos que las sustentan. En el resalto de las bóvedas, visualmente falsos arcos fajones [A_{C2.3}, A_{C2.4}, A_{C2.5}], disponen de un doblado plano de dos hojas en el intradós y una en el extradós. En el encuentro de lunetos con los formeros y en la directriz superior, donde se observan unos elementos en forma de clave (Figura 8).



Figura 8. Extradós bóvedas nave central [VC1, VC2, VC3, VC4].

d) Bóvedas de cañón con dos lunetos de las naves colaterales, con dos hojas de rasilla, sin costillas en el extradós [V_{L.2}, V_{L.3}, V_{L.4}, V_{L.5}, V_{R.2}, V_{R.3}, V_{R.4}, V_{R.5}] (Tabla 1) (Figura 10). Sus generatrices descansan sobre los arcos formeros de la nave central, se traban a dos tercios de la flecha. Existen a su vez falsos arcos fajones en el evangelio [A_{L1.3}, A_{L1.4}, A_{L1.5}], y en la epístola [A_{R1.3}, A_{R1.4}, A_{R1.5}], con un doblado plano de dos hojas en su intradós.



Figura 9. Extradós bóveda [VR1] encuentro arco fajón y formero.

Las bóvedas de las naves laterales del evangelio [V_{L.i}] y la epístola [V_{R.i}], permiten una cierta rigidez constructiva en la disposición de las naves ya que se construyen perpendicularmente a las generatrices de las naves [V_{C.i}], asegurado el

arriostramiento en ambas direcciones, ya que las naves colaterales actúan a manera de lengüetas sobre la nave central. Así, por medio de estas bóvedas, se asegura el atirantamiento de los arcos formeros del evangelio [A_{1.i}-A_{2i}] y los de la epístola [A_{3.i}-A_{4.i}]. La diferencia de gálibo entre las bóvedas de la nave central con las naves laterales [V_{L.i}, V_{R.i}], es la mitad de las flechas de sus arcos.

Tabla 1. Características topológicas de las bóvedas.

TIPOS Y MEDIAS DE BÓVEDAS				
Situación	Tipo	Sp	Sd	Vd
	(a, b, c,d)	m2	m2	m3
Presbiterio y Transepto (Pc.i-Tl.i)				
TC1	a	73,842	119,898	174,585
PC1	b	77,964	115,548	177,796
TL1	b	59,768	92,507	168,723
TR1	b	59,602	93,388	174,610
Nave central (Vci)				
VC1	b	50,748	63,920	171,000
VC2	b	50,409	63,826	173,476
VC3	b	50,625	63,546	173,707
VC4	b	50,394	63,821	170,996
Prom.		50,544	63,778	172,295
Nave Epístola (Vri)				
VR1	c	29,736	33,160	67,208
VR2	c	29,579	34,048	68,470
VR3	c	29,962	34,354	66,805
VR4	c	29,680	33,321	60,766
Prom.		29,739	33,721	65,812
Nave Evangelio (VLi)				
VL1	c	29,600	33,734	64,919
VL2	c	29,788	34,312	65,484
VL3	c	29,580	34,356	65,657
VL4	c	27,660	32,887	58,049
Prom.		29,157	33,822	63,527

3. RESULTADOS DEL ESTUDIO FORMAL

La metodología permite parametrizar las diferencias formales entre los elementos constructivos del Templo. Se ha sistematizado el análisis de pilares, arcos y bóvedas. No se incluyen los resultados en muros, dado que las alteraciones en cuanto a su verticalidad tienden a cero. Las alturas se han medido con una cota base de referencia común obtenida a partir de la media del pavimento.

3.1. Resultados en pilares

El estudio de los pilares tiene por objeto comprobar su verticalidad, partir de secciones 2D, en las que se ha registrado el desplome para las cuatro caras (dB , dF) eje (x), (dS , dL) en (y) (Tabla 2) y desde la base hasta la imposta, proyectando el fuste para evitar alteraciones debido a las molduras (Figura 10). Se ha identificado que los pilares más desplomados son [P_{2.2}, P_{3.2}],

y que en general, los desplomes tienden a disminuir conforme se alejan del transepto. El valor unitario de los desplomes de los pilares [P_{2,i}- P_{3,i}] varía según si se producen en sentido longitudinal (x) o transversal (y), siendo los primeros los que tienen valores más elevados producidos por los empujes de la cúpula, los desplomes en sentido longitudinal (x) tienden a disminuir desde la cúpula hasta la fachada principal, mientras que en la dirección transversal (y) son mucho menores y sin tendencia clara. Estos valores no tienen correspondencia en las pilastras laterales [P_{1,i}- P_{4,i}], que tienen un valor promedio de 0,025 m.

El desplazamiento de los pilares no tiene el mismo valor en caras paralelas. Los valores más elevados se encuentran en sentido longitudinal, hacia la fachada principal (dF), mientras que en sentido transversal tienden a ser más altos en la cara más cercana a los muros perimetrales (dL) (Tabla 2).

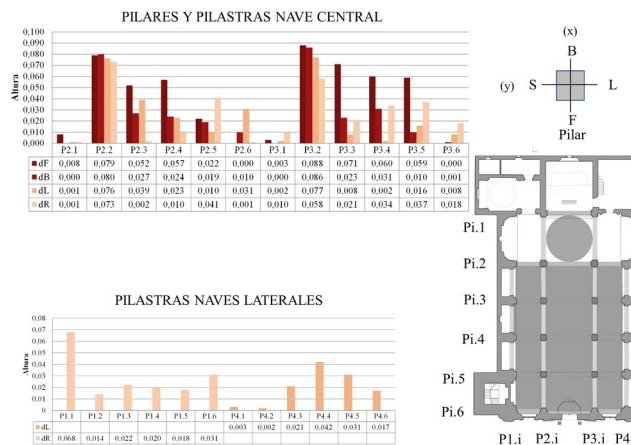


Figura 10. Desplazamientos en (x,y) de los pilares y pilastras de Batea.

Tabla 2. Relación entre desplomes (d) y altura (h) de los pilares.

DESPLOMES EN PILARES						
Pilares		h m	d m	d/h θ	h/500 f	h/250 f
P2.1	P2.1B	-	-	-	-	-
	P2.1F	11,018	0,008	0,000726	0,022036	0,044072
	P2.1R	11,010	0,001	0,000091	0,022020	0,044040
	P2.1L	11,010	0,001	0,000091	0,022020	0,044040
P2.2	P2.2B	11,022	0,080	0,007258	0,022044	0,044088
	P2.2F	11,022	0,079	0,007167	0,022044	0,044088
	P2.2R	11,049	0,073	0,006607	0,022098	0,044196
	P2.2L	11,049	0,076	0,006878	0,022098	0,044196
P2.3	P2.3B	11,042	0,027	0,002445	0,022084	0,044168
	P2.3F	11,042	0,052	0,004709	0,022084	0,044168
	P2.3R	11,049	0,002	0,000181	0,022098	0,044196
	P2.3L	11,049	0,039	0,003530	0,022098	0,044196
P2.4	P2.4B	11,000	0,024	0,002182	0,022000	0,044000
	P2.4F	11,000	0,057	0,005182	0,022000	0,044000
	P2.4R	11,005	0,010	0,000909	0,022010	0,044020
	P2.4L	11,005	0,023	0,002090	0,022010	0,044020
P2.5	P2.5B	11,043	0,019	0,001721	0,022086	0,044172
	P2.5F	11,043	0,022	0,001992	0,022086	0,044172
	P2.5R	11,049	0,041	0,003711	0,022098	0,044196
	P2.5L	11,049	0,010	0,000905	0,022098	0,044196
P2.6	P2.6B	11,058	0,010	0,000904	0,022116	0,044232
	P2.6F	-	-	-	-	-
	P2.6R	10,013	0,001	0,000100	0,020026	0,040052
	P2.6L	10,013	0,031	0,003096	0,020026	0,040052
P3.1	P3.1B	-	-	-	-	-
	P3.1F	10,990	0,003	0,000273	0,021980	0,043960
	P3.1R	10,999	0,010	0,000909	0,021998	0,043996
	P3.1L	10,999	0,002	0,000182	0,021998	0,043996
P3.2	P3.2B	10,996	0,086	0,007821	0,021992	0,043984
	P3.2F	10,996	0,088	0,008003	0,021992	0,043984
	P3.2R	10,991	0,058	0,005277	0,021982	0,043964
	P3.2L	10,991	0,077	0,007006	0,021982	0,043964
P3.3	P3.3B	11,052	0,023	0,002081	0,022104	0,044208
	P3.3F	11,052	0,071	0,006424	0,022104	0,044208
	P3.3R	11,049	0,021	0,001901	0,022098	0,044196
	P3.3L	11,049	0,008	0,000724	0,022098	0,044196
P3.4	P2.1B	11,051	0,031	0,002805	0,022102	0,044204
	P2.1F	11,051	0,060	0,005429	0,022102	0,044204
	P2.1R	11,049	0,034	0,003077	0,022098	0,044196
	P2.1L	11,049	0,002	0,000181	0,022098	0,044196
P3.5	P2.2B	11,055	0,010	0,000905	0,022110	0,044220
	P2.2F	11,055	0,059	0,005337	0,022110	0,044220
	P2.2R	11,049	0,037	0,003349	0,022098	0,044196
	P2.2L	11,049	0,016	0,001448	0,022098	0,044196
P3.6	P2.3B	11,058	0,001	0,000090	0,022116	0,044232
	P2.3F	-	-	-	-	-
	P2.3R	10,020	0,018	0,001796	0,020040	0,040080
	P2.3L	10,020	0,008	0,000798	0,020040	0,040080

El valor promedio de los desplazamientos en (x) es de 0,034 m, siendo los valores extremos [P_{2.2dB}: 0,080 m] y [P_{3.2dB}: 0,088 m], con unas deformaciones en la cara (B) de [P_{2.2Db}: d= h/137,78] y en la cara (F) de [P_{3.2dF}: d= h/124,95], en los pilares que soportan el tambor de la cúpula.

3.2. Resultados en arcos

El estudio de los arcos de medio punto se ha empleado una metodología 2D, a partir de puntos singulares. Las molduras han dificultado la lectura de algunos puntos en su imposta. Se han obtenido las alturas de la clave en cada arco respecto a la cota de referencia, registrando; la luz (L), la flecha (F) determinando el asiento (a) de la clave. En los arcos torales del cimborrio, se ha tomado la medida respecto a la geométrica de arco de medio a partir de la luz de cada uno. En los arcos formeros el desplome se expresa como la diferencia de altura en la clave respecto al arco de mayor altura de cada sección [P_{2,i}, P_{3,i}]. Los arcos la nave central [Ac_{3,4,5}] y los laterales [A_{L3,4,5}] y [A_{R3,4,5}] se conocen como falsos fajones por su doblado plano. (Figura 11).

El arco del telón del presbiterio Ac₂ tiene una luz mayor que los demás del orden de (0,194 m) y es también la anomalía superior en las claves (0,162 m). Los de la nave colateral del evangelio [A_L] tienen la clave (0,110 m) más baja que los de la epístola [A_R]. La diferencia relativa de altura entre los arcos [A_L] es de 0,030 m, mientras que en los [A_R] es de 0,080 m. (Tabla 3).

3.3. Resultados en bóvedas

Para el estudio de las bóvedas se ha combinado el registro de puntos a partir de secciones 2D con el análisis tridimensional. El bidimensional se ha basado en el registro de la altura de los puntos situados en los ejes axiales de cada bóveda, respecto al plano de referencia. Los datos obtenidos muestran que, en la nave central las bóvedas tienen peralte en dirección longitudinal (x), mientras que en su sección transversal (y) tienden a ser planas (Figura 12).

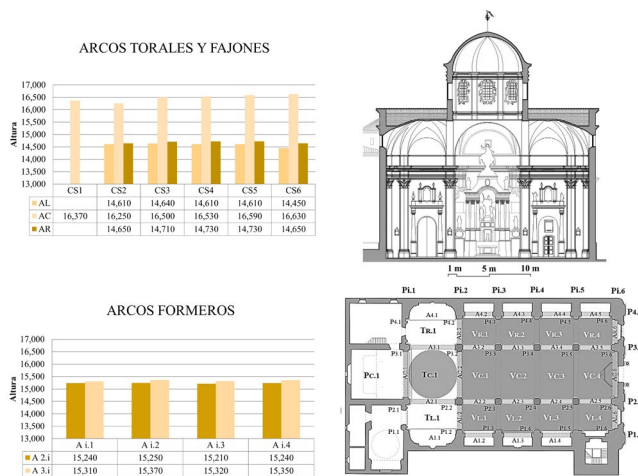


Figura 11. Alturas de la clave de los arcos.

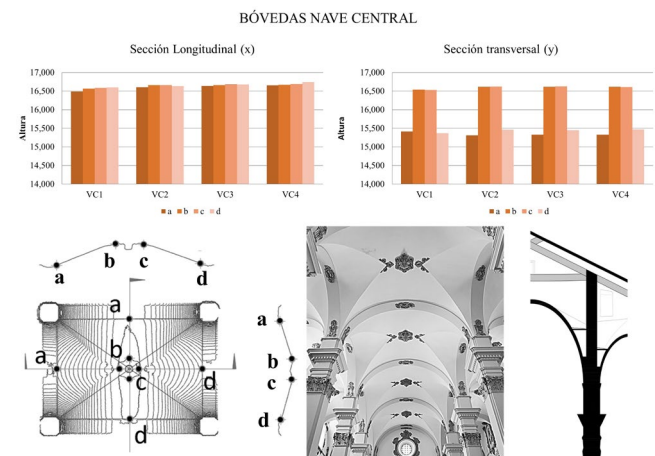


Figura 12. Metodología gráfica de la sección de las bóvedas nave central.

Tabla 3. Estudio de los arcos. L= Luz, F= flecha, a= asiento.

DESCENSO DE LA CLAVE EN LOS ARCOS						
Arcos	L	F	a	$\theta=a/(L/2)$	L/500	L/300
A2.2	5,446	2,723	0,1000	0,036724	0,010892	0,018153
A2.3	5,546	2,773	0,0500	0,018031	0,011092	0,018487
A2.4	5,646	2,823	0,0000	0,000000	0,011292	0,018820
A2.5	5,53	2,765	0,0580	0,020976	0,011060	0,018433
Prom.	5,542	2,771	0,0520	0,018766	0,011084	0,018473
A3.2	5,424	2,712	0,1160	0,042773	0,010848	0,018080
A3.3	5,516	2,758	0,0700	0,025381	0,011032	0,018387
A3.4	5,656	2,828	0,0000	0,000000	0,011312	0,018853
A3.5	5,522	2,761	0,0670	0,024267	0,011044	0,018407
Prom.	5,530	2,765	0,0632	0,022877	0,011059	0,018432
AC1	7,996	3,998	0,1320	0,033017	0,015992	0,026653
AC2	8,128	4,064	0,1620	0,039862	0,016256	0,027093
A2.1	7,934	3,967	0,1130	0,028485	0,015868	0,026447
A3.1	7,984	3,992	0,0970	0,024299	0,015968	0,026613
Prom.	8,011	4,005	0,1260	0,031459	0,016021	0,026702

En las naves laterales, el eje (x) tiende a ser horizontal, mientras que el (y) se apunta hacia la clave (Figura 13). La sobrelevación del peralte de las claves de las bóvedas centrales los ejes axiales en (x) y en laterales en dirección (y) están trabados perpendicularmente.

Se han analizado las principales características dimensionales, y la relación entre éstas y los posibles descensos en la clave. Tomando los mismos parámetros de referencia que en los arcos, se comprueba que todas las bóvedas presentan unos asientos importantes siendo especialmente destacable el caso de las bóvedas [VL4, 0,219 m], [VC4, 0,105 m] y [VR4, 0,132 m], donde probablemente las discrepancias tienen su origen en el proceso de construcción en su encuentro con la fachada, juntamente con el encuentro con el arco toral [VC1, 0,110 m]. (Tabla 4).

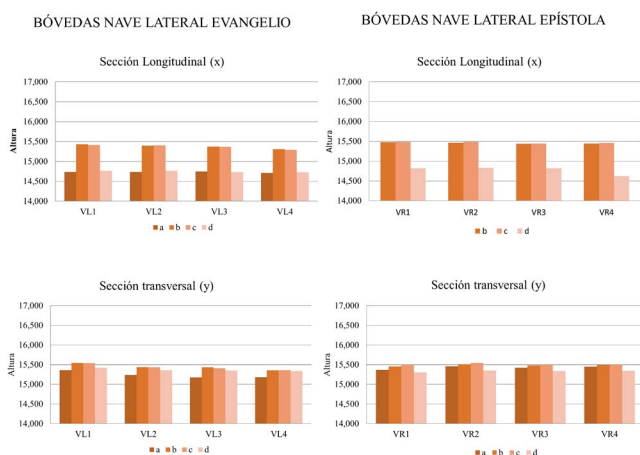


Figura 13. Diagramas sección de las bóvedas naves laterales.

El modelo 3D mapea las distancias entre la superficie de las bóvedas y un plano horizontal de referencia, ubicado en la imposta. Los diagramas se combinan con la topográfica de las bóvedas, permitiendo un análisis cualitativo de las anomalías. El estudio ha mostrado una gran similitud entre ele-

mentos análogos, aunque se han identificado algunas alteraciones. Las bóvedas del evangelio [VL] son notablemente más bajas que las de epístola [VR], a la vez las bóvedas centrales [VC] tienden progresivamente a ser más altas desde la cúpula hasta la fachada. Las bóvedas [VL4] y [VC1] tienen una altura significativamente más baja que sus pares. (Figura 14).

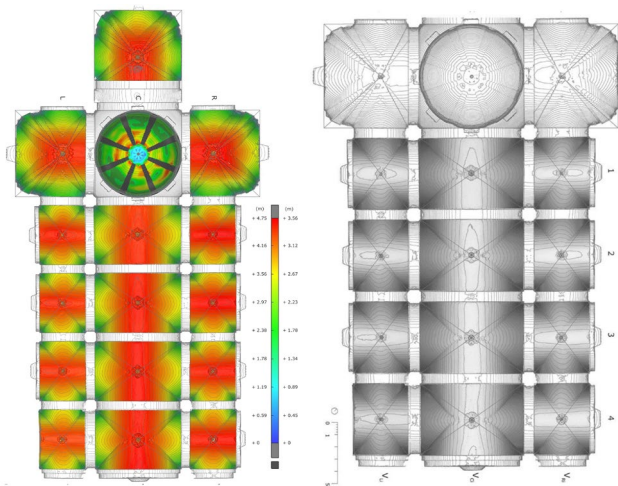


Figura 14. Análisis tridimensional de las bóvedas y la cúpula de Batea.

Por otra parte, la comparación de la bóveda central con el cilindro que mejor aproxima la nube de puntos también muestra el ajuste de la geometría en la boca del transepto (Figura 15).

En la cúpula central se observa un cierto asentamiento de la cúspide, esta deformación no es uniforme y se manifiesta en la zona del evangelio del presbiterio (Figura 16).

4. LA EJECUCIÓN Y CONSTRUCCIÓN SEGÚN LAS CONSTITUCIONES (1764)

Las Constituciones (1764) entre los Comisionados de Batea y Francisco Melet, establecen un pliego de condiciones administrativas, materiales, de medios auxiliares y de ejecución de obra.

Tabla 4. Estudio de las bóvedas. L= Luz, F= flecha, a= asiento.

PARÁMETROS BÓVEDAS						
Bóveda	L	F	a	$\theta=a/L$	L/500	L/300
VL1	5,028	2,890	0,000	0,000000	0,010056	0,016760
VL2	5,040	2,817	0,072	0,014385	0,010080	0,016800
VL3	5,039	2,849	0,041	0,008037	0,010078	0,016797
VL4	4,660	2,671	0,219	0,046888	0,009320	0,015533
Prom.	4,942	2,807	0,083	0,016770	0,009884	0,016473
VC1	8,590	4,045	0,110	0,012747	0,017180	0,028633
VC2	8,557	4,083	0,072	0,008414	0,017114	0,028523
VC3	8,540	4,155	0,000	0,000000	0,017080	0,028467
VC4	8,523	4,049	0,105	0,012378	0,017046	0,028410
Prom.	8,553	4,083	0,072	0,008389	0,017105	0,028508
VR1	5,230	2,950	0,000	0,000000	0,010460	0,017433
VR2	5,017	2,894	0,057	0,011262	0,010034	0,016723
VR3	5,040	2,919	0,032	0,006250	0,010080	0,016800
VR4	5,026	2,819	0,132	0,026164	0,010052	0,016753
Prom.	5,078	2,895	0,055	0,010806	0,010157	0,016928

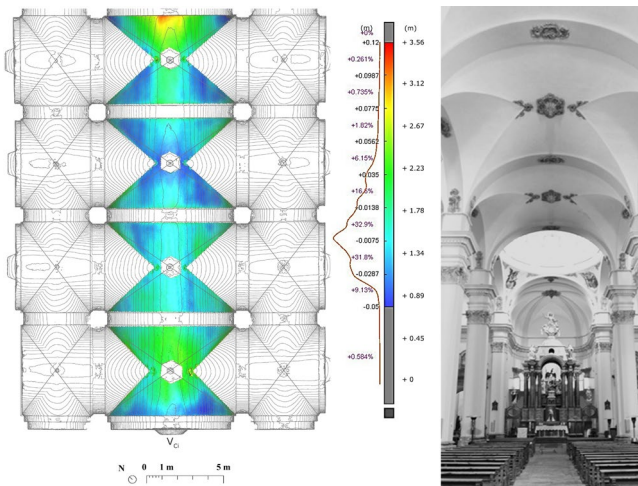


Figura 15. Análisis de la bóveda central en comparación con el cilindro que mejora aproxima la nube de puntos.

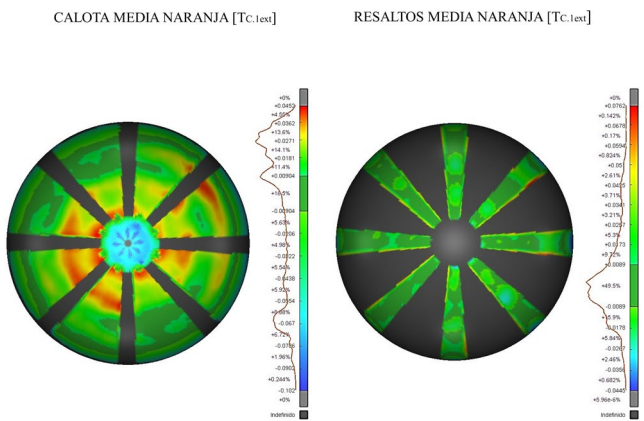


Figura 16. Análisis de la cúpula en relación a la esfera que mejor la aproxima.

Los vecinos se obligan con el Maestro, a pagar la cantidad establecida (clá. 1) en los plazos convenidos (clá. 2). La Villa ha de suministrar los principales materiales; cal hidráulica (clá.3) a pie de obra (clá. 8), la madera para las armaduras y de los medios auxiliares (clá. 4), del yeso (clá. 5), herrajes para la cubierta (clá. 6) y los ladrillos y tejas fabricados en Batea (clá. 7), asegurado así la elección de la calidad del material de la obra. Se hacen cargo a la vez de las tierras producto de la excavación de los cimientos no reutilizable en la fábrica (clá. 9).

En cuanto al maestro, se obliga a un total de 57 cláusulas para ejecución de la obra. En lo que concierne a la ejecución de las bóvedas tabicadas y en cuanto a las condiciones administrativas se les exige disponer de una fianza a convenir entre las partes, cuyo fiador es su hermano Antonio Melet también maestro de obras (clá.1). El plazo de ejecución es de seis años consecutivos, cuatro para construir la Iglesia y el resto para la torre. (clá. 48). Desde la primera piedra hasta la consagración transcurrieron 24 años, a la vez que se le somete si fuera necesario en caso de percibir defectos, a una visura externa y repararlos a su costa (clá. 49).

En cuanto a los materiales y medios auxiliares, será obligación del maestro el mezclar y amasar la cal (clà. 2), amerar bien el ladrillo (clà. 14), conducir el agua hasta la obra (clà. 3). Ha de apartar el escombros para replantear la obra (clà. 4), y desmontar la tierra de la cantera (clà. 5) y extraer la piedra que sea necesaria para la fábrica (clà. 6). Se le impone pagar al carpintero para armar la cubierta y los medios auxiliares necesarios (clà. 7), siendo a su cuenta las cuerdas y maromas (clà. 8) y los herrajes para cintras, tornos y andamios (clà. 9).

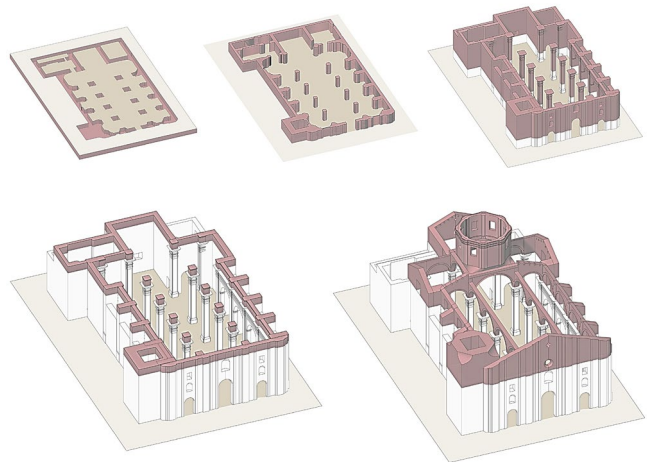


Figura 17. Proceso cimentación y estructura.

En cuanto a las condiciones para ejecución de la obra es menester abrir los cimientos hasta terreno firme (clà. 15), con siete palmos de ancho (clà. 16) (Figura 17.a), mientras que los pilares del cimborio de sección de 7 palmos lo han de ser de forma cuadrada con 10 palmos (clà. 19). (Figura 17.b). Una vez ejecutados los cimientos ha de realizar un segundo replanteo, marcando las partes macizas, las aberturas, y ejecutar los muros exteriores con piedra hasta los 8 palmos (clà. 17), debiendo de construir un arco sobre las aberturas a manera de dintel (clà. 18).

Ha de levantar el cuerpo de la fábrica hasta la cornisa coincidiendo con el de las capillas laterales (clà. 22). (Figura 17.c). La cornisa será de piedra con mampostería común como en las esquinas y contra esquinas de los muros, que serán piedra labrada (clà. 19), al igual que la fachada y el campanario (clà. 20), levantando toda la caja bien nivelada hasta la cornisa del arranque de la cubierta (clà. 23). (Figura 17.d).

Ha de construir los arcos con de ladrillo y yeso y con la rosca del diseño y estribo suficiente dándoles el tercio (Figura 17.e), sobre ellos se enrasarán las hiladas de ladrillo para asentar el maderaje del tejado para formar las vertientes de la cubierta (clà. 24). (Figura 18).

Se construyen así los arcos torales del cimborrio $[A_{Ci}]$ y del transepto, los arcos formeros de la nave central $[A_{1,i}]$ y $[A_{2,i}]$, y los colaterales del evangelio, $[A_{3,i}]$ y la epístola $[A_{4,i}]$, además de los fajones de la fachada (Figura 19.a).

Las vigas de la cubierta han de tener una sección cuadrada de un palmo valenciano, sobre los que se sitúa un lis-



Figura 18. Enrasado sobre los arcos formeros para asentar la cubierta.

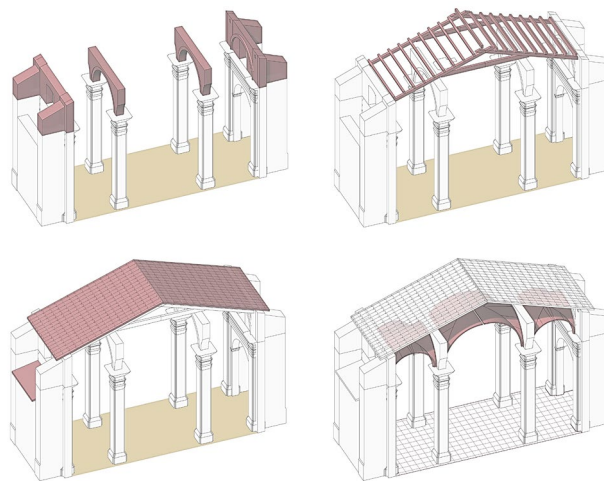


Figura 20. Telar sobre los arcos torales del cimborrio.

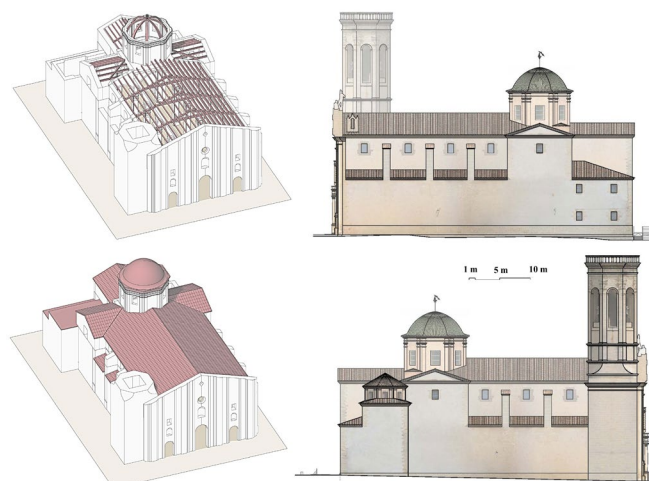


Figura 19. Construcción estructura cubierta estribando el Templo.

tonado clavado a las vigas. La canal tendrá que asentarse entre listones y donde el *cavallón* se realizará con la teja macizada.

Las piezas de la canal se cabalgarán a tres cuartos. Se cubren las capillas y las naves, que han de servir para la *restribación* de la fábrica antes de emprender la construcción más delicada del templo, la del cimborrio y la cúpula (clà. 25). (Figura 19.b). Una vez enrasadas las pechinas de los arcos torales se obliga a asentar el telar de madera en el extradós del muro, teniendo después, que nivelar y alisar el anillo (Figura 20). El maestro levantará el cuerpo del cimborrio con su caja con ladrillo y dice la taba “yeso”, dejando las ventanas según perfil del diseño hasta el arranque del alero de la cubierta donde se asienta la media naranja, disponiendo de otro telar de un palmo valenciano (0,227 m).

Se crea así un doble cinturón para absorber las tracciones de la cúpula [TC.]. La Villa suministra la madera “dels Ports”, montañas frondosas cercanas a Batea (clà. 26). Se construye la media naranja, con doble calota, la primera con óculo y un doblado cerámico y la segunda con dos hojas de rasilla, y con ocho costillas con resaltos de gajo de naranja en el intradós [TC.].

Se obliga a construir las bóvedas bajo cubierta sacando sus aristas y pasarlas con raspado de yeso pardo, y dejarlas en la última disposición para aplicar el blanqueo final con alabastro que dará la Villa de Batea. (clà. 28) (Figura 21).



Figura 21. Construcción bóvedas tabicadas bajo la cubierta.

Las bóvedas tabicadas se ejecutan después de techar la obra, creando así la protección para la ejecución de las hojas de rasilla tomadas con yeso, y que forman el intradós de la bóveda y dispuestas a tabla. Así se ejecutan las bóvedas de cañón con lunetos en las naves central [V_{ci}] y en las colaterales [V_{li}-V_{ri}], sin cimbra (Figura 22), como aquellas que requieren mayor pericia por la dificultad de trazado, las bóvedas de rincón lunetos, [P_{ci}, T_{li}, T_{ri}.] del presbiterio y transepto.

5. DISCUSIÓN

Existen desplazamientos horizontales y verticales en el conjunto estructural de las naves ejecutadas con bóvedas de cañón con lunetos construidas con “*volta de rajola doblada*”. No se pueden precisar y aislar particularmente las anomalías producidas por el efecto propio del empuje de las doce bóvedas tabicadas con respecto al efecto producido por la media naranja. Tampoco diferenciar los posibles desplazamientos producidos por movimientos de la estructura cuyo origen



Figura 22. Bóvedas tabicadas naves colaterales.

podrían encontrar en la propia puesta en obra del proceso constructivo.

Los desplazamientos máximos de los pilares se producen en aquellos que soportan los arcos torales de la cúpula [$P_{2.2dB}$: 0,080- $P_{2.2dF}$: 0,079 m] y [$P_{3.2dB}$: 0,086- $P_{3.2dF}$: 0,088 m], con unas distorsiones angulares [$\theta_{P_{2.2}} = 0,007258$] y [$\theta_{P_{3.2}} = 0,008003$], próximas a los valores máximos de daños de las grandes deformaciones establecidas por Kwok y Ang (1987), y cuyas cuantías referidas a su flecha [$P_{2.2dB}$: $d = h/137,78$] y [$P_{3.2dF}$: $d = h/124,95$], mayor a los requerimientos normativos actuales ($h/250$).

Estos desplazamientos tuvieron que ser decisivos para provocar el desmontaje de la calota interior de la cúpula [$T_{C.1.int}$] y cuya primitiva hoja que actuaría por gravedad. Las deformaciones de la media naranja actual [$T_{C.1.ext}$] de construcción cohesiva conservada en la actualidad se producen en la parte comprimida en los cuartos de la pilastra [$P_{2.1}$], tal vez consecuencia del rayo caído en el (29-VI-1945).

En la construcción de los Templos Salón, este cuerpo llamado de las luces es el punto crítico de los múltiples colapsos producidos en el siglo XVIII, debido a dos cuestiones, la altura del cimborrio, y la referida a la calidad y trabado del material, en arcos, estribos y pechinas. De aquí la recomendación de Tomás Vicente Tosca, de sustituir el tambor y abrir en la media naranja proporcionados lunetos (39).

La media naranja empuja sobre el tambor octogonal y éste sobre los arcos torales en función del gálibo de las ventanas. Por ello, se obliga al maestro (clá. 26) a construir los dos telares con vigas de madera, uno encima de los arcos torales y el otro en el arranque de la cúpula. La por otra parte la calidad del material empleado, ladrillo, yeso, cal y madera es responsabilidad de la Villa de Batea, y los efectos de la ejecución con los posibles asentamientos de las juntas por la rehidratación del yeso y la del fraguado del mortero cal que afectan a su viscosidad otra vez responsabilidad del maestro. A éste se le impone en cada uno los principales cuerpos de la fábrica, un control en la ejecución del enrasado, aplomado y nivelación de la caja de la obra. Como se indica en las tabas del contrato, se reali-

zan, en el replanteo de la obra, en la nivelación de cimientos, al final del asiento de la pared de piedra, al final de los pilares, en el arranque de los arcos, en la cornisa de la cubierta, en el enrasado del cimborrio y en el arranque de la media naranja.

El desplazamiento máximo [$\delta_x P_{BF}$] entre dos caras paralelas de los pilares se produce en dirección longitudinal (x) en el pilar [$P_{3.3BF} = 0,048$ m]. Esta anomalía se ha de explicar o bien por los fenómenos de apelmazamiento de las pastas de yeso o cal, o por la posible excentricidad de la descarga de la armadura principal de la cubierta asentada sobre pilares en los muros de remate de los arcos de fábrica.

Las anomalías geométricas de los arcos se concentran en aquellos que soportan el cimborrio [A_{C1} , A_{C2} , $A_{2.1}$, $A_{3.1}$] y a sus colindantes [$A_{2.2}$ y $A_{3.2}$]. La diferencia de 0,110 m entre los gálibos de los arcos de las naves colaterales del evangelio [A_L] y de la epístola [A_R], junto con las existente entre la gradación de la cúpula y fachada hace pensar en una ejecución simétrica de los arcos por grupos de operarios diferentes, garantizado en equilibrio parcial del tren de los arcos [P_{13} , P_{14} , P_{15}] de la sección transversal (y), confiando el equilibrio a los estribos de las capillas laterales.

Las bóvedas tabicadas de las naves son la últimas que se ejecutan presentando la mayor anomalía en el primer cañón de la nave central [V_{c1}], en el encuentro con al arco toral [A_{c2}], el más deformado. No podemos determinar el proceso de construcción de estas bóvedas, y si se ejecutaron hacia la fachada o desde ella hacia el interior, ni del estado de los medios auxiliares dispuestos en la fábrica. De estas condiciones dependerían las deformaciones y desplazamientos iniciales que la media naranja habría producido tras su ejecución. La bóveda [V_{c4}] próxima a la fachada presenta en su conjunto anomalías en los puntos próximos a la clave peraltada en dirección longitudinal (x).

La teoría de la construcción gravitatoria demuestra que las deformaciones y desplazamientos de los empujes de las bóvedas de mampostería han producido tradicionalmente deformaciones transversales (y). En nuestro caso de construcción cohesiva, las deformaciones más importantes se producen en la dirección principal (x) de la nave. Esta situación se debe a los empujes producidos de la media naranja, sobre soporte ochavado del cimborrio y que actúan sobre los arcos torales y a su vez sobre los dos pilares de la nave que se desplazan sobre la dirección principal (x).

En la sección longitudinal, los ábsides disponen de una mayor rigidez que en la fachada opuesta, con lo que la construcción de torres ayuda al contrarresto y a estabilidad global.

Estas circunstancias tienen un impacto directo en las alteraciones formales más destacadas de los pilares, arcos y cúpula y aunque en menor medida en las bóvedas tabicadas de la nave. De manera que las principales discrepancias formales pudieran estar igualmente relacionadas con el proceso constructivo, a la vez que con los procesos de deformación y desplazamiento estructural.

6. CONCLUSIÓN

Los resultados demuestran que pese a la buena práctica constructiva especificada en las Constituciones (1764), y pese a que el edificio está realizado cualitativamente sobre los cánones de los tratados de Arquitectura referidos por Diego de Villanueva (1766), y aunque visualmente no se aprecia ninguna sintomatología, el estudio detallado por los métodos de captura masiva de datos (MDCT), detecta singulares anomalías geométricas.

El diseño de las bóvedas tabicadas de las naves está muy matizado y diferenciado, en la nave central [$V_{c,i}$] se ejecutan con resalto en el extradós y mientras que en las colaterales [$V_{L,i}$, $V_{R,i}$] el perfil es liso. La directriz del cañón con lunetos de la nave central queda rigidizada por el cañón perpendicular de las colaterales.

El mismo criterio se utiliza en el peralte de las bóvedas cuadradas respecto a su directriz, con ello se consigue una cierta rigidez y atirantamiento en ambas direcciones (x) (y). Aún con esta disposición, existen desplazamientos horizontales y verticales en el conjunto de las bóvedas de las naves, que están producidos principalmente por los efectos externos derivados de las acciones de la media naranja.

Los movimientos espaciales analizados de las bóvedas tabicadas de las naves indican que, pese a la construcción de las

lengüetas, éstas no son lo suficientemente rígidas, como concluía el Conde de Espié (1754), y se deforman por los empujes propios y por las acciones de su entorno, como concluía Ventura Rodríguez (1776). Los desplazamientos relativos del conjunto de la nave central son debidos a la bóveda de la media naranja, también cohesiva y tabicada que tracciona la base del cimborrio y cuyos efectos son notables en los arcos torales y en los primeros pilares de la nave.

La estabilidad de la fábrica tiene dos fases, la primera tras la cobertura de la fábrica con la ejecución de la cúpula previa a la ejecución del resto de las bóvedas tabicadas. En esta fase, especialmente en el transepto, presenta unas rigideces menores que una vez se han construido el resto de las bóvedas y por tanto puede presentar deformaciones y desplazamientos instantáneos que dependerían del estado de los andamios y del cimbrado de los arcos torales.

A partir de esta fase se plantea un nuevo estado de equilibrio con la construcción de las bóvedas de las naves, a lo mejor ya construidos sobre una base de la fábrica existentes con desplazamientos mayores a aquellos establecidos por las recomendaciones sobre la rigidez de las normativas actuales, superiores a ($h/250$) en los pilares y a ($L/500$) en los asientos de arcos y bóvedas. Pese a ello, no se observan lesiones en la obra, con lo cual hace repensar la calibración en los vares modernos de los modelos normativos para este tipo de estructuras de obra de fábrica.

REFERENCIAS / REFERENCES

- (1) Almagro, A. (2001). Un aspecto constructivo de las bóvedas en Al-Andalus. *Al-Quantara*, XXII, 1, 147-170.
- (2) Zaragoza, A. (2012). Hacia una Historia de las Bóvedas Tabicadas. *Construyendo Bóvedas Tabicadas. Actas del Simposio Internacional sobre Bóvedas Tabicadas, Valencia 26, 27 y 28 de mayo de 2011, Zaragoza*. Valencia: U.P. Valencia, 11-46.
- (3) Gómez-Ferrer, M. (2009). The origins of tile vaulting in Valencia. *Construction History*, 24, 31-44.
- (4) Garganté, M (2012). De las personas a las ideas: Francia en la arquitectura catalana de la época moderna. En, *Les échanges artistiques entre la France et l'Espagne, XV^e-fin XIX^e siècles*, J. lugand. Perpignan: Presses Universitaires de Perpignan, 83-101.
- (5) Ibáñez, J. (2012). Técnica y ornato: aproximación al estudio de la bóveda tabicada en Aragón y su decoración a lo largo de los siglos XVI y XVII. En: *Construyendo Bóvedas Tabicadas. Actas del Simposio Internacional sobre Bóvedas Tabicadas Valencia 26, 27 y 28 de mayo de 2011, Zaragoza*, A, (et al.) (ed.). Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, 83-100.
- (6) Guastavino, R. (1892). *Essay on the Theory and History of Cohesive Construction applied especially to the timber vault*. Boston : Ticknor and Company, 45.
- (7) D'Espie, F.F. (1754). *Maniere de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles ; ou Traité sur la construction des voutes faites avec des briques & du plâtre dites voutes plates*. Paris: Duchesne, 2-12.
- (8) Sotomayor, J. (1776). *Modo de hacer incombustibles los edificios, sin aumentar el coste de su construccion / extractado de el que escribió en francés el conde de Espiè; ilustrado y añadido por Joachin de Sotomayor Cisneros y Sarmiento*. Madrid: En la oficina de Pantaleón Aznar, Censura.
- (9) Villar, A. (1988) *Arquitectura cordobesa del neoclasicismo al posmoderno*. Córdoba: Caja Provincial Ahorros, 347-373.
- (10) Rieger, C. (1763). *Elementos de toda la arquitectura civil con las más singulares observaciones de los modernos de Christian Rieger traducidos al castellano por el padre Miguel Benavente*. Madrid: Joaquín Ibarra, 250-251.
- (11) De Villanueva, D. (1766). *Colección de Diferentes Papeles Críticos sobre todas las partes de la Arquitectura*. Valencia: Impreso por Benito Monfort.
- (12) Mochi, G. (2001). Elementos para una historia de la construcción tabicada. En: *Las bóvedas de Guastavino en América*. S. Huerta (ed.). Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU, (113-146).
- (13) Huerta, S. (2001). La mecánica de las bóvedas tabicadas en su contexto histórico, con particular atención a la contribución de los Guastavino. *Las bóvedas de Guastavino en América, ed. S. Huerta*. Madrid: Instituto Juan Herrera, CEHOPU, 87-112.
- (14) Huerta, S. (2003). The Mechanics of Timber Vaults: A Historical Outline. In: *Essays on the History of Mechanics*. BECHI A. (et al.) (ed). Basel: Birkhäuser, (89-134).
- (15) Huerta, S. (2006). La construcción tabicada y la teoría cohesiva. *Guastavino, R. Escritos sobre la construcción cohesiva y su función en la arquitectura*. Madrid: CEHOPU, Instituto Juan de Herrera, XV-LX.

- (16) González, J.L. (2004). La bóveda tabicada: pasado y futuro de un elemento de gran valor patrimonial. In: Construcción de bóvedas tabicadas. A. Truño. Madrid: Instituto Juan de Herrera, XI-LX.
- (17) Redondo, E. (2013). La bóveda tabicada en España en el siglo XIX: la transformación de un sistema constructivo. Tesis (Doctoral), E.T.S. Arquitectura (UPM), dirigida por Santiago Huerta Fernández.
- (18) Iborra F. (2018). A war minister, two idle amateur builders and an eccentric designer: the true story of the tile vaults in the north of France. En: Reactive proactive architecture. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, 384-389.
- (19) Soler-Verdú, R.; Soler-Estrela, A. (2015). Tipología de cúpulas tabicadas. Geometría y construcción en la Valencia del siglo XVIII. *Informes de la Construcción*, 67(538): e078. <https://doi.org/10.3989/ic.13.180>
- (20) Pérez-Sánchez, J.C.; Piedecausa-García, B. (2015). Cúpulas de crucero en templos de la provincia de Alicante (s.X-VII-XIX): construcción y geometría. *Informes de la Construcción*, 67(538): e077. <https://doi.org/10.3989/ic.13.176>
- (21) Sáez, B. (2013). Iglesias salón valencianas del XVIII. Levantamiento gráfico, análisis geométrico y constructivo, patología común. Tesis doctoral dirigida por Alba Soler Estrela: y Arturo Zaragoza Catalán. Universitat Politècnica de Valencia.
- (22) Gil, Y. (2015). El miedo a levantar las cúpulas en la arquitectura valenciana del siglo XVIII: los tambores. In: Seite. *Frammenti di Storia e Architettura D 15, Piazza S.* (ed). Palermo: Caracol, 149-162.
- (23) Feu, A. (2017). Les voltes de rajola doblada: construcció i seguretat estructural de les esglésies barroques catalanes. Tesis doctoral dirigida por José Luis González Moreno-Navarro. Universitat Politècnica de Catalunya.
- (24) Cadiñanos Bardeci, I. (2005). Documentos para la Historia del Arte en la Corona de Aragón II. Principado de Cataluña. *Boletín del Museo e Instituto Camón Aznar*, 96, 131-132.
- (25) Villanueva, Diego de (1766). *Colección de Diferentes Papeles Críticos sobre todas las partes de la Arquitectura*. Valencia: Impreso por Benito Monfort, 153-171.
- (26) Alanyá Roig, J. (2006). Església de Batea (Bisbat de Tortosa, provincia de Tarragona): contracte de construcció (1764). *Boletín de la Sociedad Castellonense de Cultura*, 82, 322-340.
- (27) Garganté Llanes, M. (2008). La planta de saló a la Segarra: de la capella de la universitat de Cervera a la irradiació de la catedral de Lleida. *Miscellània Cerverina* 18, 11-54
- (28) Lluís i Ginovart, J; Lluís-Teruel, C; Ugalde-Blázquez, I. (2021). Bóvedas tabicadas en la ingeniería militar española (s. XVIII). *Informes de la Construcción*, 73(562): e393. <https://doi.org/10.3989/ic.80000>.
- (29) Thomson Llisterri, T (2007). *Iglesia de Santa María la Mayor de Alcañiz*. Alcañiz: Centro Estudios Bajoaragoneses, 48.
- (30) Muñoz Jimenez, J. (2013). Segunda adenda al Diccionario de Artífices del Carmelo Descalzo: arquitectos, maestros de obras, ensambladores y oficiales. *Monte Carmelo* nº 121, 269-304.
- (31) Ibáñez, J. (2010). De la crucería al cortado: importación, implantación y desarrollo de la bóveda tabicada en Aragón y su decoración a lo largo de los siglos XVI y XVII. *Artígrama* núm. 25, 363-405.
- (32) Kwok, Y.H.; Ang, A.H.S. (1987). Seismic damage analysis and design of unreinforced masonry buildings. *Structural Research Series No. 536*, University of Illinois at Urbana-Champaign, junio, 48-62.
- (33) Tena, A. (2007). Resistencia y deformación de muros de mampostería combinada y confinada sujetos a cargas laterales. *Revista de Ingeniería Sísmica*. 76, 29-60. DOI: 10.18867/RIS.76.58.
- (34) Alanyá Roig, J. (2019). *Sant Miquel de Batea la catedral de Terra Alta. Tomo 1*. Tortosa: Impremta Querol, 427-431.
- (35) Vilà, E. (1991). *La catedral de Lleida*. Lleida: Pagès Editors, p. 199.
- (36) Font i Peig, R. (2012). *Recull històric d'Amposta. L'Església del poble*. Sant Carles de la Ràpita: Ramon Font i Peig 132-140.
- (37) Matamoros, J. (1932). *La catedral de Tortosa. Trabajos monográficos acerca de su construcción y de su contenido artístico y religioso*. Tortosa: Editorial Católica, 79.
- (38) Martí, C.; Molina, A. (1992). Església de Sant Pere de Corbera. *Bulletí del Centre d'Estudis de la Terra Alta* nº. 17, 313-322.
- (39) Tosca, T.V. (1712), *Compendio Mathematico Tomo V*. Valencia: Vicente Cabrera, 236-237.