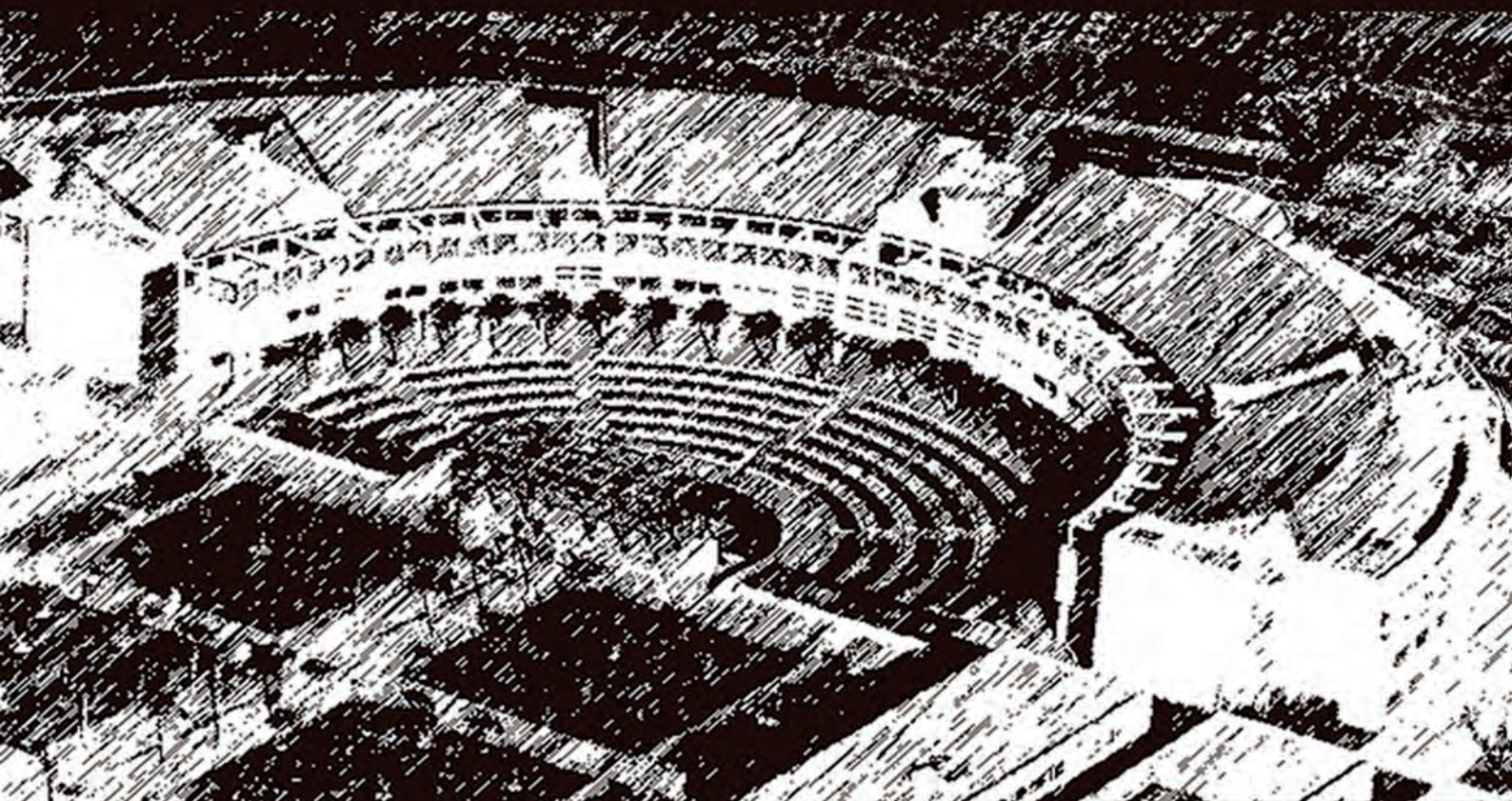


X CONGRESO INTERNACIONAL EXPRESIÓN GRÁFICA APLICADA A LA EDIFICACIÓN

**GRAPHIC EXPRESSION APPLIED TO BUILDING
INTERNATIONAL CONFERENCE**



Alicante, 2, 3 y 4 de diciembre

**Nuevas líneas de investigación
en Ingeniería de Edificación**

**New lines of research
in Building Engineering**

2010

APEGA

Esta publicación no puede ser reproducida, ni totalmente ni parcialmente, ni registrada, ni transmitida por un sistema de recuperación de información, ya sea fotomecánico, electrónico, por fotocopia o cualquier otro medio, sin el permiso previo de los propietarios de copyright.

© del texto: Los autores

© de esta edición: Editorial Marfil, S.A.
C/ San Eloy, 17 • 03804 Alcoy
Tel.: 96 552 33 11 • Fax: 96 552 34 96
www.editorialmarfil.com

Universidad de Alicante
Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía
Campus de Sant Vicent del Raspeig
03080 Alicante

I.S.B.N.: 978-84-268-1528-6
Depósito legal: A-1033-2010



LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO E HIPÓTESIS SOBRE LA ESTEREOTOMÍA DE LA BÓVEDA ARISTADA DE LAS TORRES DE QUART DE VALENCIA

NATIVIDAD VIVÓ, Pau⁽¹⁾; CALVO LÓPEZ, José⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Arquitectura y Tecnología de la Edificación, Universidad Politécnica de Cartagena
Cartagena, España
e-mail: pau.natividad@upct.es

⁽²⁾ e-mail: jose.calvo@upct.es

Resumen

Las Torres de Quart son uno de los principales testimonios de la ciudad amurallada de Valencia en la época medieval. Su construcción comenzó en 1441 y prosiguió hasta 1460, y estuvo a cargo, entre otros, del maestro Francesc Baldomar. La planta primera de la tribuna central está cubierta por una bóveda aristada esviada en la que se abandonan las soluciones lineales de nervaduras y plementería típicas de la época para emplear únicamente piezas enterizas de piedra. Esta bóveda resulta de un interés excepcional desde el punto de vista de la Historia de la Construcción, pues constituye un paso intermedio entre la cantería gótica y la estereotomía renacentista: si bien plantea nuevos problemas geométricos, el reto se afronta desde un completo dominio de la tradición gótica. El objetivo del trabajo es obtener la forma de esta bóveda y avanzar en el conocimiento de su construcción, para lo cual se realiza un levantamiento arquitectónico, dovela a dovela, mediante fotogrametría multimagen, donde a partir de un conjunto de fotos convergentes obtenidas con una cámara digital calibrada, y empleando un programa informático especializado, se obtiene un modelo tridimensional del intradós. El levantamiento muestra claramente aspectos que ponen en juego elementos de la tradición bajomedieval y facilita datos acerca de su estereotomía que las fuentes escritas no pueden proporcionar.

Palabras clave: Levantamiento arquitectónico, Fotogrametría, Estereotomía, Bóveda aristada.

Abstract

Architectural survey and hypothesis about the stereotomy of the edged vault of the Towers of Quart

The Towers of Quart, in the Mediaeval wall of Valencia, are one of the main Gothic monuments in the city. They were built from 1441 to 1460, under the direction of a number of master masons, in particular Francesc Baldomar. The first floor of the central tribune is covered by a singular oblique vault, which eschews the linear solutions of Late Gothic vaulting, such as linear ribs and webs, for three-dimensional voussoirs. From the point of view of the Construction History, the vault is of exceptional interest, since it represents a link between Gothic stonecutting and Renaissance stereotomy: the use of solid ashlar poses new geometric problems, unknown to Mediaeval masons, but such challenge is nevertheless faced through a remarkable mastery of the Gothic tradition. This paper will present a detailed architectural survey of the oblique vault, representing all individual voussoirs, carried on by means of multi-image photogrammetry, using a set of convergent pictures taken with a calibrated digital camera, and using specialized software, which allow the construction of a three-dimensional model of the vault intrados. This survey allows us to describe the shape of the oblique vault and study its construction, furnishing data that written sources that cannot be gathered from written sources, and showing clearly how Late Gothic methods, such as the geometrical tracing of tierceron vaults, were put into practice in this forerunner of Renaissance stereotomy.

Keywords: Architectural survey, Photogrammetry, Stereotomy, Edged vault.

1. Sobre la arquitectura de la Corona de Aragón en el siglo XV: el caso de la bóveda aristada en las Torres de Quart

Durante el siglo XV tuvo lugar en la Corona de Aragón, y concretamente en el Reino de Valencia, un episodio de gran importancia en la arquitectura tardogótica, caracterizado por el empleo de expresiones formales muy singulares. Los edificios valencianos más significativos de esta época muestran novedosas aplicaciones geométricas en el trazado de sus soportes, arcos, bóvedas y escaleras, sin precedentes conocidos [1]. Nos estamos refiriendo a los arcos dispuestos en esviaje, los de esquina y los inscritos en muros curvos; las bóvedas aristadas, las de arista, las de rincón de claustro y las esféricas, resueltas la mayoría en piedra enteriza; las decendas de cava o bóvedas de cañón de directriz inclinada, las escaleras de caracol de ojo abierto más conocidas como caracoles de Mallorca, las trompas, los ochavos, etc. Estas soluciones, que ponen en relieve la existencia de una importante escuela valenciana de cantería [2], posibles gracias a un gran dominio del arte de corte de piedras, sólo pueden explicarse desde una nueva forma de entender y construir la arquitectura fundamentada en una nueva organización de la obra y un avanzado conocimiento de la geometría del espacio y su representación bidimensional [3], que conocemos modernamente bajo la denominación de Geometría Descriptiva.

Un ejemplo paradigmático de este episodio es el Portal y las Torres de Quart. Esta construcción militar es uno de los principales testimonios de la ciudad amurallada de Valencia en la época medieval (Fig. 1). Su construcción comenzó en 1441 y prosiguió hasta 1460, y estuvo a cargo, entre otros, de los maestros Francesc Baldomar, Jaume Pérez, Pere Compte y Pere Bonfill [4]. Están ejecutadas con cal y canto mediante el sistema de encajonadas, probablemente para resistir mejor artillería de la época, y reservan la sillería para construir los arcos, los ángulos, los cuerpos volados, algunas bóvedas y otros elementos como las escaleras. Cada una de las torres posee tres plantas abovedadas, y están unidas por un cuerpo central, más bajo, retranqueado por la parte exterior y sobresaliente por la parte de intramuros, donde se ubica el pasaje de acceso a través de la muralla. Las peculiaridades más llamativas de estas torres es que se disponen con la gola abierta, es decir, están huecas y abiertas por su parte posterior [5], y se proyectan en planta esviadas respecto de la alineación de las murallas para adaptarse así al eje del antiguo camino de Quart, lo que provoca que todos los abovedamientos, arcos y vanos se dispongan en viaje. En la arquitectura valenciana del cuatrocientos los esviajes son abundantes y frecuentemente innecesarios, a diferencia de los escasos y normalmente obligados de épocas anteriores; se trata, en realidad, de una exhibición y muestra del virtuosismo alcanzado.



Fig. 1. Vista actual del Portal y las Torres de Quart desde extramuros.

La tribuna central de estas torres se cubre, en planta primera, mediante una bóveda esviada de dos tramos (Fig. 2), obra del maestro cantero Francesc Baldomar (atribuida erróneamente, años atrás, a Pere Bonfill [2]), en la que se abandonan las soluciones lineales de nervaduras y plementería típicas de la época para emplear únicamente piezas enterizas. Esta bóveda pétrea, aunque formalmente similar y frecuentemente confundida con las de arista, se trata en realidad de una bóveda aristada. Las bóvedas aristadas son aquellas que se ordenan a partir de una serie de aristas que han sustituido el lugar y la función de los nervios en las bóvedas de crucería [6]. Se diferencian de éstas, por tanto, en que carecen de nervios; y hacen lo propio con las de arista en que no se forman por la intersección de cañones. Al no disponer de nervios que materialicen previamente el encuentro entre los paños, se hace necesario resolver anticipadamente estas intersecciones y, por tanto, se evidencia en su construcción un control de la geometría del espacio que, con toda probabilidad, debe de haberse realizado mediante el empleo de trazados a tamaño natural.

Sin duda, esta bóveda resulta de un interés excepcional desde el punto de vista de la Historia de la Construcción, pues en ella se plantean una serie de nuevos problemas geométrico-espaciales que son más propios del Renacimiento que del gótico, si bien se abordan desde un completo dominio de las técnicas góticas. Los tratados de estereotomía conocidos, posteriores todos a la construcción de las torres, proponen trazas y cortes para multitud de bóvedas, arcos y demás piezas de cantería, pero ninguno incluye entre sus páginas referencia alguna a las bóvedas aristadas, a su geometría o a la labra de sus piezas, por lo que la construcción de estas superficies tan características del cuatrocientos valenciano sigue ofreciendo, actualmente, grandes incógnitas. El objetivo del presente trabajo ha sido obtener un levantamiento arquitectónico preciso de la bóveda aristada, y avanzar en el conocimiento de su forma y construcción a partir de la información recabada, que facilita datos acerca de su estereotomía que las fuentes escritas no pueden proporcionar.



Fig. 2. Vista cenital del intradós de la bóveda aristada en la tribuna central de las Torres de Quart.

2. El levantamiento arquitectónico mediante fotogrametría multimagen

El levantamiento arquitectónico puede definirse, básicamente, como el conjunto de tareas realizadas para obtener documentos gráficos que representen un objeto arquitectónico, partiendo de los datos que aportan sus fábricas. Si bien esto es cierto, hoy en día el concepto trasciende ampliamente este significado. Una definición actual más completa viene recogida en la *Carta del Rilievo* [7] en la que se entiende el levantamiento como la forma primigenia de conocimiento del bien arquitectónico, y por tanto necesario para comprender y documentar dicho bien en su configuración completa.

En el presente trabajo se ha empleado el sistema conocido como fotogrametría multimagen para obtener, dovela a dovela, un levantamiento tridimensional del intradós de la bóveda. Este sistema

resulta ser una herramienta muy eficaz para estudiar las piezas de cantería, pues permite determinar con cierta facilidad las juntas entre las dovelas y de esta manera conocer la forma y despiece, aspectos básicos para abordar el análisis estereotómico. Mediante la aplicación de este sistema, a partir de un conjunto de fotografías convergentes obtenidas con una cámara de alta resolución calibrada (preferentemente digital réflex), y empleando un programa informático especializado, se pueden determinar las coordenadas de los puntos que aparezcan en dos o más fotografías. De este modo y punto a punto es posible obtener un modelo tridimensional del objeto arquitectónico deseado. Las características de este sistema fotogramétrico son, básicamente, el uso de fotografías convergentes y la identificación monoscópica de los puntos sobre las mismas [8].

2.1. Instrumental

En el proceso de levantamiento se ha empleado el siguiente instrumental:

- Un ordenador personal con procesador de doble núcleo a 2,20 GHz, memoria RAM de 4,00 GB, y con los programas informáticos PhotoModeler Scanner 6.0 y Rhinoceros 4.0 instalados.
- Una cámara fotográfica digital tipo réflex modelo Canon EOS 450D, con un objetivo modelo Canon EF-S 18-55 IS.
- Un distanciómetro láser con alcance 50 m y precisión $\pm 1,5$ mm.

2.2. Proceso de levantamiento

La primera tarea consiste en calibrar la cámara, operación necesaria para que el programa fotogramétrico conozca la orientación interna y las deformaciones que el objetivo de la cámara introduce en la teórica proyección cónica de las fotografías. La longitud focal, el enfoque y la apertura del diafragma son los parámetros de la cámara y objetivo que tienen influencia sobre la geometría de las lentes y, por tanto, sobre la distorsión de las imágenes. Por eso se deben fijar en el momento de la calibración y deben permanecer constantes durante la toma posterior de fotografías. En este trabajo la cámara se ha ajustado en modo semiautomático A_V con prioridad a la apertura, siendo ésta de $f/8$, mientras que la distancia focal del objetivo se ha fijado en 18 mm, con el enfoque en modo manual establecido al infinito. En un objetivo convencional la distancia focal varía en función del enfoque, y puesto que en la mayoría de las cámaras solo se puede fijar la focal en sus extremos, lo habitual será calibrar los objetivos en la focal máxima o mínima, ya que son las posiciones repetibles.

El trabajo de campo se reduce básicamente a la obtención de una serie de fotografías convergentes o cruzadas, tomadas estratégicamente que deben intentar abarcar el elemento en su totalidad. Es preciso obtener series encadenadas con buenos solapamientos y puntos fáciles de identificar. Al existir zonas con poca luz, y puesto que se requería una buena definición, se ha procurado siempre ajustar la sensibilidad de manera que la velocidad de obturación fuera como mínimo de $1/60$ s, y preferiblemente de $1/100$ s o superior (al no emplear trípode, con una velocidad menor a $1/60$ s la trepidación restaba bastante nitidez a las fotografías, haciendo inviable el trabajo con las mismas). En cualquier caso, la sensibilidad nunca ha sido superior a 400 ISO, pues con valores superiores aparecía excesivo grano; de todas maneras cabe indicar que la existencia de más o menos grano no importa demasiado siempre y cuando se identifiquen claramente los puntos a levantar. Además de las fotografías convergentes, se debe determinar la vertical y tomar una medida, para posteriormente orientar y escalar el modelo.

El trabajo de gabinete comienza con el programa fotogramétrico PhotoModeler 6.0. Dentro del mismo se van cargando las fotografías convergentes y se van marcando puntos del modelo hasta que se obtiene un modelo tridimensional completo. El proceso consiste en ir identificando puntos homólogos en las diferentes imágenes, de manera que el programa fotogramétrico primero orienta las fotografías y luego va calculando las coordenadas espaciales de los puntos señalados. Los puntos marcados son los vértices de las dovelas del intradós de la bóveda, de manera que el resultado de la restitución es una *nube de puntos*. No existe un número concreto de fotografías a emplear, sino que se van usando más o menos según el proceso lo necesite; concretamente en este trabajo se han empleado un total de 18 fotografías convergentes.

PhotoModeler permite dibujar líneas uniendo los puntos, y también dispone de comandos para orientar y escalar el modelo, de manera que si hacemos uso de estas opciones el resultado inicial de la nube de puntos se convierte en un modelo a base de puntos y rectas que podemos denominar como *modelo alámbrico*, y que muestra el intradós como si fuera una estructura sin masa, donde las juntas entre dovelas quedan representadas mediante líneas rectas. En este estadio inicial de levantamiento no existe ningún tipo de interpretación, los datos se muestran tal cual se obtienen directamente de la restitución fotogramétrica (Fig. 3).

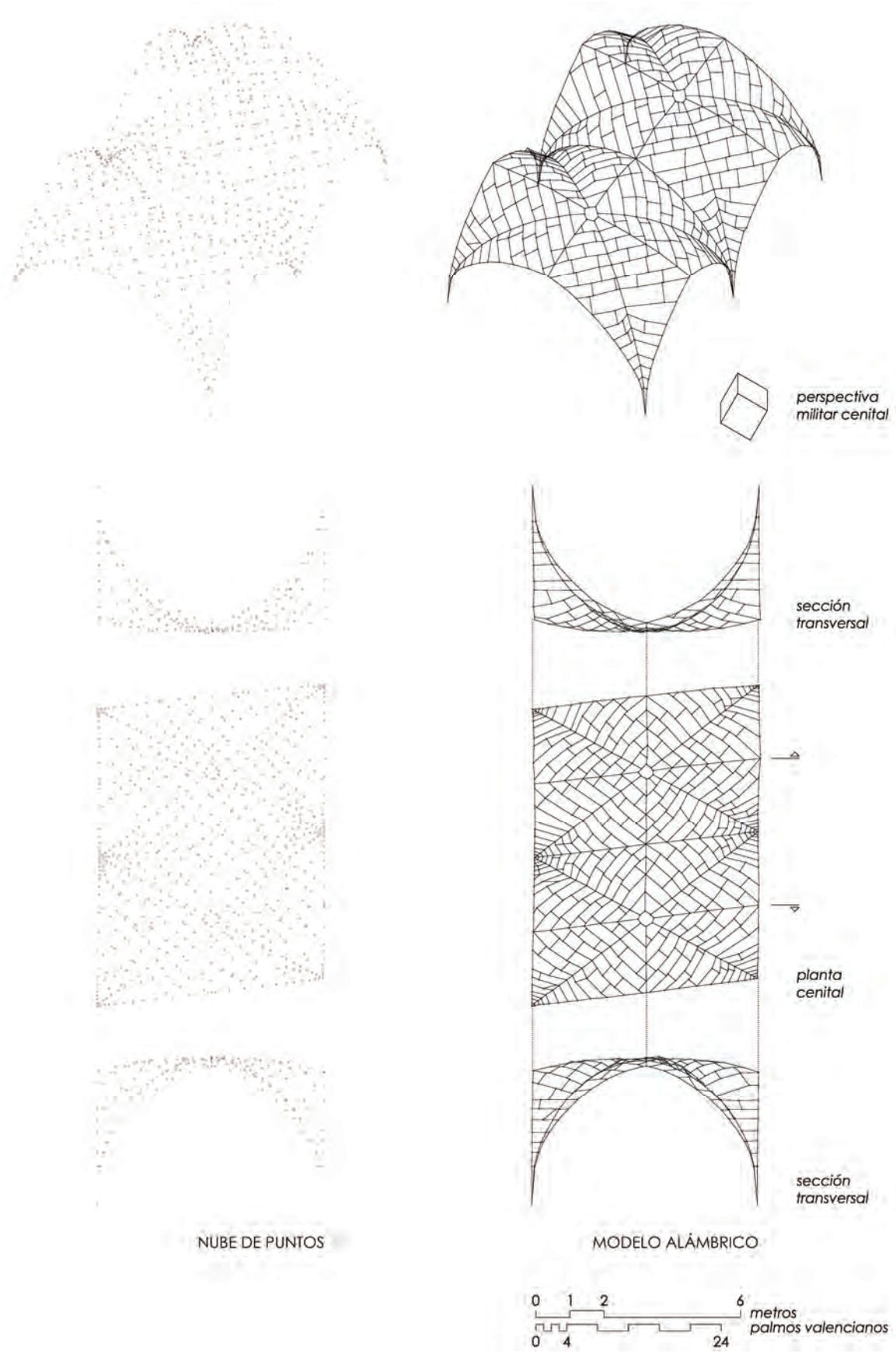


Fig. 3. Algunas vistas y proyecciones diédricas de la nube de puntos y modelo alámbrico exportado desde Photomodeler.

Posteriormente este modelo alámbrico se procesa con el programa Rhinoceros 4.0 para obtener un dibujo más acorde con las convenciones usuales del dibujo arquitectónico. La primera operación realizada ha consistido en dibujar “curvas sin geometría definida” pasando por aquellos puntos que forman parte de una curva en la realidad construida, pero de la cual se desconoce su geometría, o tan sólo se intuye. De este modo se consigue un modelado más suave, pues se sustituyen las líneas rectas por curvas allá donde hace falta, como por ejemplo en los arcos. La segunda operación ha consistido en diferenciar las líneas y curvas según fueran juntas horizontales, verticales, aristas, o una combinación de las mismas. Así se logra distinguir claramente el despiezo, lo cual facilita enormemente su estudio, y además permite presentar planos arquitectónicos de la bóveda donde las líneas ya no tienen igual valor, como ocurría en el modelo alámbrico, sino que se potencian las aristas sobre las juntas. La tercera operación ha sido la creación de superficies para conseguir que el intradós adquiriera masa, es decir, que los paramentos tengan solidez y que los objetos que están por detrás queden ocultos. Se esta manera se obtiene un levantamiento más inteligible pues se evita la imagen confusa de estructura alámbrica proporcionada del modelo importado desde PhotoModeler. Los resultados de este proceso con Rhinoceros se presentan como planos arquitectónicos ya interpretados (Fig. 4).

2.3. Precisión métrica del levantamiento

El máximo error cometido en la determinación de las coordenadas de un punto del modelo es, según informa PhotoModeler, de 0,010620 metros; es decir, no llega a los 11 milímetros. Tratándose de un levantamiento de piezas de cantería, donde el espesor medio de las juntas suele ser de 2 cm aproximadamente, se puede afirmar que a efectos prácticos el error es totalmente despreciable. Si bien sólo hace falta una medida para escalar el modelo, se han tomado más para comprobar la precisión métrica del trabajo. En la tabla 1 se comparan las cotas obtenidas por medición directa con las correspondientes resultantes del modelo alámbrico. La primera medida que aparece en la tabla (6,67) ha sido la utilizada para escalar el modelo; se ha empleado otra adicional que aparece en segundo lugar (9,06) para situar un plano horizontal a modo de suelo y comprobar de esta manera la altura de las claves. Las restantes medidas son las que realmente se comparan.

Cota obtenida por medición directa (metros)	Cota resultante del levantamiento fotogramétrico (metros)	Desviación (metros)	Desviación (%)
6,67	6,670	—	—
9,06	9,060	—	—
4,32	4,348	0,028	0,6
4,37	4,378	0,008	0,2
4,29	4,294	0,004	0,1
4,33	4,325	0,008	0,1
6,62	6,610	0,010	0,2
6,69	6,687	0,003	0,0
9,00	8,988	0,012	0,1
9,03	9,006	0,024	0,3
8,94	8,930	0,010	0,1
8,93	8,912	0,018	0,2
8,90	8,889	0,011	0,1
8,91	8,910	0,000	0,0
11,43	11,445	0,015	0,1
10,29	10,304	0,014	0,1

Tabla 1. Comparación de las cotas obtenidas por medición directa y del levantamiento fotogramétrico.

3. Sobre la geometría y estereotomía de la bóveda aristada

Como ya se ha comentado, ningún tratado conocido habla sobre las trazas y estereotomía de las bóvedas aristadas, por lo que su construcción sigue ofreciendo, actualmente, grandes incógnitas. Algunos autores proponen ciertas hipótesis sobre la forma y construcción de estas superficies abovedadas [1] pero hasta la fecha no se había publicado un levantamiento de la bóveda aristada de las Torres de Quart realizado con el mismo nivel de detalle.

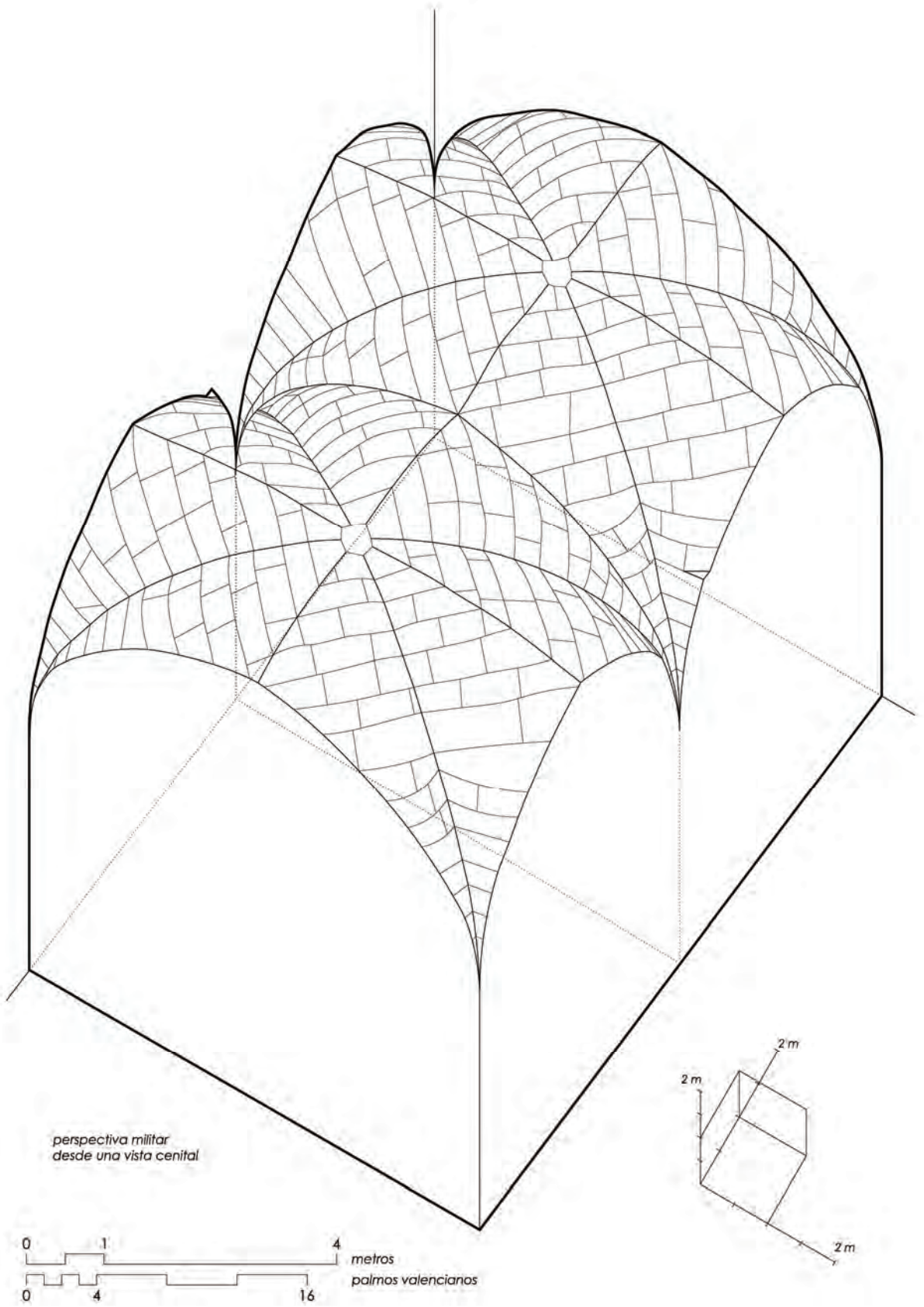


Fig. 4. Plano arquitectónico con una perspectiva militar cenital del intradós de la bóveda.

En una bóveda de arista el proceso de generación geométrica consiste en definir los cañones o superficies cilíndricas, de manera que las aristas son resultado de su intersección. En la bóveda que nos ocupa se procede a la inversa: primero se definen las aristas y posteriormente los plementos, que son superficies cuyos bordes se adaptan a dichas aristas, al igual que ocurriría con los nervios y plementería de una bóveda de crucería (de hecho, una bóveda aristada se asemeja bastante, en su definición formal, a una de crucería). Bajo estas circunstancias, las aristas deberían tener, en principio, una geometría determinada que se presupone reconocible, y por eso el primer paso del análisis ha sido el estudio de las mismas.

La bóveda tiene 3 arcos perpiaños que dividen la bóveda en dos tramos. En cada tramo se ubican 2 arcos formeros en los laterales, 2 arcos cruceros en las diagonales, y 4 ligaduras que unen las claves secundarias con las principales. Se ha comprobado, en el modelo tridimensional, que dichas aristas se asemejan con bastante precisión a arcos de circunferencia (Fig. 5). Los perpiaños y formeros son arcos apuntados formados por dos segmentos circulares, si bien los formeros tienen su arranque ligeramente peraltado respecto del resto. Las ligaduras parecen ser tramos de circunferencia, aunque se debe ser cuidadoso porque, al ser tramos tan cortos, podrían corresponderse también con otros trazados geométricos. Los cruceros son de dos tipos, pues en la planta esviada existe una diagonal mayor y otra menor: el que salva la diagonal mayor corresponde a una semicircunferencia completa, mientras que el de la diagonal menor se corresponde a un arco apuntado cuya altura viene definida por el de la mayor. Efectivamente, al no disponer de nervios que materialicen previamente el encuentro entre los paños, se hace necesario resolver anticipadamente estas intersecciones, y es probable que los constructores medievales recurrieran, en este caso, a trazados circulares y apuntados. Puede comprobarse, también, que las claves secundarias se disponen por debajo de las principales, como es habitual en la tradición bajomedieval.

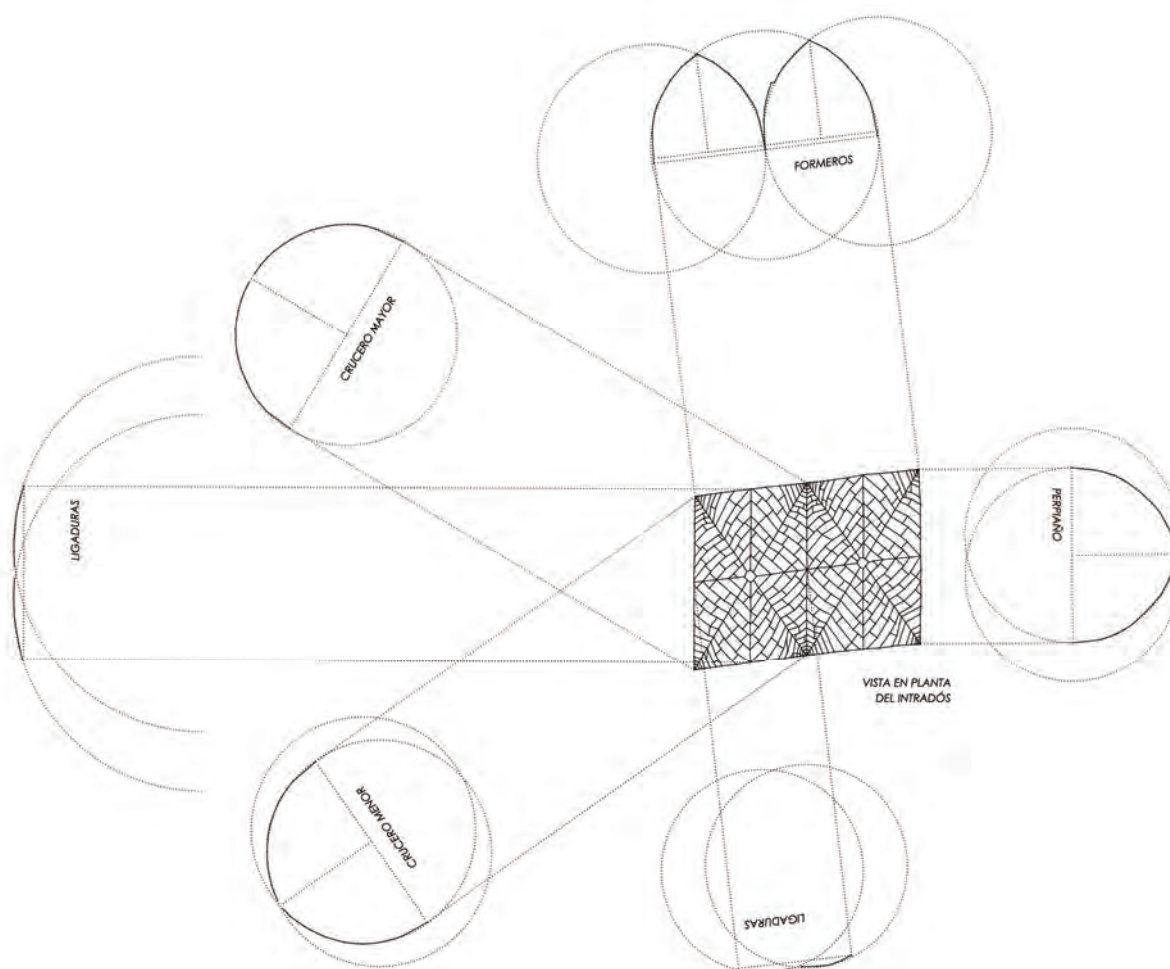


Fig. 5. Correspondencia geométrica de los arcos (o aristas) con trazados circulares y apuntados.

La pregunta que surge, llegados a este punto, es cómo definir la geometría de los plementos con los medios de que se disponían en el siglo XV, de manera que pongan en acuerdo todas las aristas y sean constructivamente abordables. Parece poco probable que los constructores hubieran diseñado una serie de superficies básicas (esféricas, cilíndricas o incluso tóricas) bajo una composición en planta esviada, cuyas intersecciones dieran como resultado las diferentes aristas, que en realidad son arcos de circunferencia de diferentes radios ubicados en planos verticales no paralelos. Parece más sencillo pensar que estos paños son superficies curvas de geometría en principio desconocida que se adaptan a las aristas ya definidas, y cuya forma es resultado de un proceso constructivo y no de una ideación geométrica previa. Y esta última opción es la hipótesis que precisamente se va estudiar, a la luz de ciertos datos de gran interés obtenidos del levantamiento.

Si observamos la disposición de los lechos (juntas entre las diferentes hiladas) se puede comprobar que, en las 7 u 8 primeras hiladas (según la jarja observada), vienen determinados por planos horizontales, mientras que en las hiladas superiores cambian de orientación. En la figura 6 se presenta, a la izquierda, la perspectiva de un cuarto de un tramo de la bóveda en la que se puede ver medio arco crucero, medio perpiaño, medio formero, las dos ligaduras correspondientes, y el desarrollo de la plementería. Por un lado se han representado, mediante líneas, los planos horizontales que con toda probabilidad definen los lechos de las primeras hiladas. Por otro lado, se ha unido con rectas cada vértice de las dovelas de las hiladas superiores con el centro geométrico del arco crucero. A la derecha de la figura 6 se muestra un alzado, que no es frontal, sino que se dispone oblicuamente, en una posición particularmente privilegiada, pues resulta que todas las líneas que unen los vértices con el centro parecen ubicarse según unos planos radiales (que vemos de canto) cuya intersección sería una línea horizontal que pasa por el centro del crucero, y que en este alzado oblicuo sería una recta de punta. Bajo estas circunstancias se podría afirmar que, probablemente, los lechos de las hiladas superiores vienen definidos según estos planos radiales.

Además, una vez obtenidos estos planos, se ha comprobado sobre el modelo tridimensional que las juntas aparentes de los lechos en el intradós son curvas que se disponen entre las aristas, y parecen venir definidas según arcos de circunferencia ubicados en dichos planos (lo que resulta más complicado, debido a la poca longitud de estas curvas, es determinar si tienen la misma curvatura).

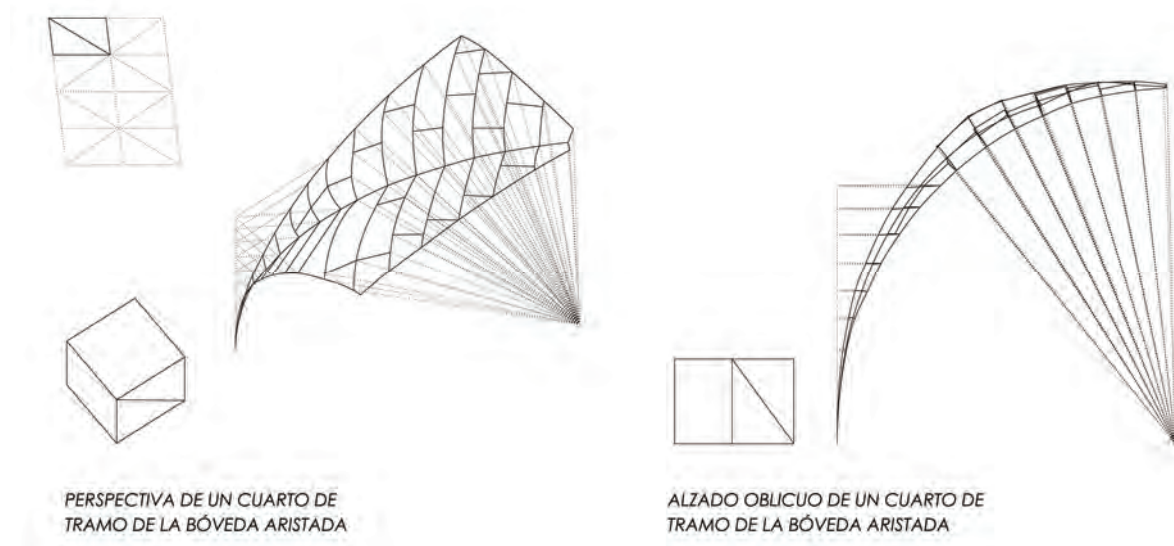


Fig. 6. Planos horizontales y radiales que definen los lechos para un cuarto de tramo de la bóveda.

Sabemos, entonces, que en un cuarto de tramo de la bóveda existen unas primeras hiladas con lechos planos horizontales o paralelos y otras hiladas superiores con lechos planos radiales (como se ve en la figura 6 a la izquierda). Una vez obtenida la inclinación de los lechos de una hilada, toca definir el intradós de las dovelas. El procedimiento es, básicamente, el mismo para las hiladas inferiores (de lechos paralelos) y las superiores (de lechos radiales), ya que se trata de dibujar sobre cada lecho correspondiente las dos curvas que relacionan la arista diagonal (crucero) con las aristas laterales (perpiaño, formero o ligaduras, según el caso). El intradós de una hilada sería la superficie que queda entre las dos curvas dibujadas en el lecho inferior con las otras dos dibujadas en el lecho

superior. Bajo estas circunstancias, se podría comprobar el trazado de las dos curvas en los lechos mediante una cercha, y se podría labrar el intradós en sentido vertical con cierta curvatura, mediante la comprobación con baivel o con otra cercha. Este método se asemeja bastante al que empleaban los canteros góticos en la construcción de las bóvedas de crucería, pues empezaban disponiendo hiladas con juntas horizontales en los enjarjes y, al separarse los nervios, disponían los lechos radiales [9]. Las trazas y técnicas de labra de esta bóveda aristada presentan ciertas evoluciones y adaptaciones para poder aplicarlas a superficies completas, pero en esencia es el mismo procedimiento; ya no se emplean plantillas para los enjarjes y nervios, sino que se dibujan curvas relacionando las diferentes aristas, pues es necesario definir aristas y elementos conjuntamente.

Sin embargo, en todo este procedimiento se hace necesaria una operación de la que no hemos hablado aún. Para poder dibujar las curvas sobre el lecho necesitamos determinar la posición de 3 puntos, que son el principio y final de las dos curvas, y que se obtienen como la intersección de los planos radiales con las aristas. Estas intersecciones sólo se pueden determinar en un alzado oblicuo como el presentado en la izquierda de la figura 6, y por lo tanto requiere en teoría dibujar los diferentes arcos como elipses; ahora bien, en los tratados de cantería renacentistas, las elipses o incluso las hélices, se aproximaban en algunos casos mediante arcos de círculo, con errores muy pequeños, y no es descabellado suponer que en el período tardogótico se recurría a esta solución en algunas ocasiones. En cualquier caso, una vez dibujados los arcos en el alzado oblicuo, se puede determinar la intersección con los planos radiales, y se puede abatir sobre el plano horizontal. Puesto que conocemos la posición de los puntos en planta, obtenemos la posición de los 3 puntos en verdadera magnitud, y podemos trazar entre los 3 las dos curvas que definen el lecho en la hilada seleccionada.

De todas formas cabe indicar que esta hipótesis sobre la estereotomía de esta bóveda aristada está actualmente en proceso estudio, por lo que no se descarta que en el avance de la investigación surjan nuevos datos que ofrezcan mayor claridad al proceso de trazado y labra de las piezas.

4. Citas y Referencias bibliográficas

[1] ZARAGOZÁ CATALÁN, Arturo. *El arte de corte de piedras en la arquitectura valenciana del cuatrocientos: un estado de la cuestión*. Discurso de ingreso. Valencia: Real Academia de Bellas Artes de San Carlos, 2008.

[2] GARÍN ORTIZ DE TARANCO, Felipe M^a. *Una posible escuela hispanolevantina de crucerías anervadas*. Homenaje al Profesor Cayetano Mergelina, Universidad de Murcia, 1961-1962, pp. 431-439.

[3] GÓMEZ-FERRER, Mercedes; ZARAGOZÁ CATALÁN, Arturo. *Lenguajes, fábricas y oficios en la arquitectura valenciana del tránsito entre la Edad Media y la Edad Moderna (1450-1550)*, en Artigrama, nº 23, 2008, pp. 149-184.

[4] AA. VV. *Castillos, torres y fortalezas de la Comunidad Valenciana*. Valencia: Editorial Prensa Valenciana, 1995.

[5] Las torres de gola abierta, o bestorres, son construcciones especialmente aptas para flanquear murallas urbanas, ya que si el asediante logra llegar al adarve le resultará más difícil hacerse fuerte en él y protegerse del hostigamiento desde intramuros, al carecer la torre de muro trasero. MORA-FIGUEROA, Luis de. *Glosario de arquitectura defensiva medieval*. Madrid: Ministerio de Defensa, 2006.

[6] ZARAGOZÁ CATALÁN, Arturo. *Arquitectura gótica valenciana*. Valencia: Generalitat Valenciana, 2000.

[7] AA. VV. *Carta del Rilievo Architettonico*. Nápoles, 1999.

[8] ALONSO RODRÍGUEZ, Miguel Ángel; CALVO LÓPEZ, José. *Sobre el levantamiento arquitectónico mediante fotogrametría multimagen*, en Actas del XIII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. Valencia, 2010.

[9] VIOLLET-LE-DUC, Eugène-Emmanuel, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle*. Paris: B. Bauge, 1854.