



## LA BÓVEDA DE CRUCERÍA ANERVADA DEL PORTAL DE QUART DE VALENCIA

## THE RIBLESS LIERNE VAULT AT THE GATES OF QUART IN VALENCIA

*Pau Natividad Vivó, José Calvo López, Gaspar Muñoz Cosme*

Entre las dos conocidas Torres de Quart de la muralla medieval de Valencia se dispone una tribuna central cubierta por una bóveda de crucería esviada en la que se abandonan, por primera vez en el gótico valenciano, las soluciones lineales de nervaduras y plementería típicas de la época para emplear únicamente piezas de piedra tallada. Este planteamiento constructivo conlleva una serie de nuevos problemas geométricos en la traza y labra de las dovelas que son más propios de la estereotomía renacentista que de la cantería gótica; por esta razón, la pieza reviste un interés excepcional desde el punto de vista de la Historia de la Construcción en el ámbito ibérico. En este trabajo presentamos un levantamiento fotogramétrico riguroso de la bóveda a partir del cual estudiamos su forma, despiece y construcción, es decir, su estereotomía.

**Palabras clave:** Torres de Quart, Bóveda anervada, Fotogrametría, Estereotomía

*The central part of the Portal de Quart, one of two surviving gates of the Mediaeval city walls of Valencia, includes a skew ribbed vault, placed over the central tribune, that eschews, for the first time in Hispanic Gothic, the usual solutions based on ribs and severies, using instead only whole ashlar. Such choice poses a number of new geometric problems connected with the design and execution of the vault, which are closer to Renaissance stereotomy than Gothic stonecutting. All this makes the vault a member of outstanding importance for Iberian Construction History. In our paper we present a precise photogrammetrical survey of this vault and, building on it, a study of its geometrical form and construction.*

**Keywords:** Gates of Quart, Ribless vault, Photogrammetry, Stereotomy



1. Vista actual del Portal de Quart desde extramuros.  
1. The Gates of Quart from outside the city walls.



1

## La bóveda de la tribuna del Portal de Quart

Durante el siglo XV se desarrolló en el Reino de Valencia, y en particular en la capital, un singular episodio de arquitectura tardogótica caracterizado, entre otros rasgos, por el empleo de bóvedas en piedra de cantería que siguen disposiciones típicas de la tradición bajomedieval, como la utilización de arcos apuntados, ojivos, terceletes y ligaduras, pero que no distinguen entre nervaduras y plementería, sino que se resuelven empleando únicamente dovelas enterizas, anticipando así la construcción pétreo renacentista (Zaragozá 2008, pp. 20-23). Estas experiencias arquitectóni-

cas tienen suficiente entidad como para hablar de la existencia de una importante escuela valenciana de cantería anervada (Garín 1962), dentro de la cual destacó la figura de Francesc Baldomar (1425-1476), maestro de las obras reales, maestro de obras de la ciudad de Valencia y de la catedral, y fundador del gremio de canteros junto con Pere Compte, su discípulo.

La ejecución de estas bóvedas únicamente con piedra labrada planteaba una serie de nuevos problemas geométricos y constructivos, pues ya no se trataba de resolver el despiece y la labra de nervios lineales, sino de amplias superficies curvas de cierta complejidad. Los tratados y manuscritos de estereotomía conservados, poste-

## The vault over the tribune of the Gates of Quart

Valencian architecture of the 15th century uses frequently a number of peculiar solutions, in particular ashlar vaults featuring an overall Gothic design with pointed arches, diagonal groins, tiercerons and liernes, but eschewing the use of ribs and severies and using only carefully dressed voussoirs. Such experiences have led historians to speak about a major Valencian school of ribless stonecutting (Garín 1962), started by Francesc Baldomar (1425-1476), Master of the Royal Works, Master of the Works of the City of Valencia and founder of the Stonecutters' Guild of the city, along with his disciple Pere Compte.

The execution of such vaults using only tightly-assembled voussoirs poses a number of difficult geometrical problems, since the shape and construction of these vaults does not stem from linear ribs, but rather involves wide and complex double-curvature surfaces. At first sight, such problems are closer to Renaissance stereotomy than Mediaeval tradition (Zaragozá 2008, pp. 20-23). Besides, preserved treatises and manuscripts on stereotomy, all of them dating from later periods, explain a great number of solutions for all kinds of vaults, arches and other stonemasonry members, but do not deal with the geometry and dressing process of this kind of ribless vaults in the Mediaeval tradition. As a consequence, the formal control and construction process of such typical elements of Mediterranean Gothic poses still a number of unsolved problems. One of the most significant examples of such vaults, the earliest ribless vault in this school, is built in the Portal de Quart in Valencia. This construction protects a gate in the Mediaeval city walls, flanking it with a pair of cylindrical towers, which control the access to the city from the neighboring village of Quart de Poblet, (fig. 1-2). It was built between 1411-1460 by Francesc Baldomar, Jaume Pérez, Pere Compte and Pere Bonfill (Sánchez 1995, p. 666). A number of different materials and techniques were used, in particular brick in some vaults and lime concrete in the towers, maybe in order to resist the attacks by firearms, that were gaining importance in this period (Gómez-Ferrer 2008, pp. 154-155). In contrast, ashlar masonry was used in arches, corners, battlements, stairs and the main vaults (Fernández 2007). The axis of the main vaults in



the gates is placed obliquely to the city walls, following the direction of the old road to Quart; this fact poses additional difficulties for the control and execution of the vaults. Anyhow, the obliquity of the road seems rather a pretext to showcase the dexterity of the masters that built the gates; Zaragoza (2000, p. 141; 2008, pp. 154-155) has remarked that in Valencian 15th-century architecture, in contrast with preceding periods, skew members are quite frequent, but usually unnecessary. In particular, a two-bay skew vault, built by Francesc Baldomar, spans the first-stage tribune, eschewing ribs and severies and using only whole voussoirs (fig. 3-4). Although resembling at first sight a groin vault, this piece should be described rather as a ribless lierne vault (see Garín 1962, pp. 436-437; Zaragoza 2008, p. 29; Zaragoza 2010). In a typical groin vault, groins are the result of the intersection of two cylinders, materialised by the intrados of a pair of barrel vaults. By contrast, in the vaults at the Gates of Quart, groins are defined at the start of the design process, and the intrados surfaces are laid between the groins, in the same way that the severies of a ribbed vault are laid between the ribs. However, since the vaults in the Gates of Quart do not include ribs to be used for the formal control of the intrados surfaces, the building process of such a member requires a previous geometrical definition of the vault; this process was usually carried out by means of full-scale stonecutting tracings.

### Photogrammetric survey

In order to obtain a precise survey of the vault, we have used multi-image photogrammetry. This method, which furnishes three-dimensional models built from digital photographs of the object being surveyed, is an efficient tool for research on stereotomy, since it allows to locate easily voussoirs corners and joints, and thus to document the form and quartering of intrados surfaces. Field work can be carried on quickly, since it involves taking a number of convergent photographs with a high-resolution calibrated digital camera. Besides, the operator should determine the vertical direction and take at least one measurement of an element in the object being measured; this will allow to orient and scale the survey at a later stage. Once this data-gathering phase is completed, photographs can be processed at the office marking coincident



2

riores todos a la construcción del portal, ofrecen soluciones para multitud de bóvedas, arcos y otras piezas de cantería, pero ninguno incluye entre sus páginas referencia alguna a este tipo de bóvedas anervadas, a su geometría o a la labra de sus dovelas, por lo que la construcción de estas superficies tan características del cuatrocientos valenciano sigue ofreciendo, actualmente, grandes incógnitas.

Dentro de las construcciones realizadas durante este periodo reviste gran interés el *Portal de Quart* de Valencia, que incluye una de las primeras bóvedas resueltas en cantería anervada. Se trata de una puerta flanqueada por dos torres semicilíndricas, que formaba parte de la muralla medieval y a través de la cual se controlaba el acceso desde la población de Quart de Poblet (Figs. 1-2). Fue construida entre 1441 y 1460, estando a cargo de las obras,

2. Acceso a Valencia a través del Portal de Quart, según el plano de Antonio Mancelli (1608).

2. The road to Valencia through the Gates of Quart in Antonio Mancelli's map (1608).

entre otros, los maestros Francesc Baldomar, Jaume Pérez, Pere Compte y Pere Bonfill (Sánchez 1995, p. 666). Se utilizaron diferentes materiales y técnicas, destacando la ejecución de los muros de las torres con tapia de argamasa, probablemente para resistir mejor las armas de fuego que empezaban a aparecer en aquella época, mientras que se emplea la piedra labrada para construir las diferentes arcadas, los ángulos, los cuerpos volados con almenas, las escaleras y algunas de sus bóvedas más importantes (Fernández 2007). Todo el conjunto, incluyendo arcos, vanos y abovedamientos, se dispone en esviaje respecto de la alineación de las murallas para adaptarse al eje del antiguo camino de Quart, lo que dificulta en gran medida la construcción de las piezas de cantería. Ahora bien, el trazado oblicuo de dicho camino parece ser únicamente un pretexto para mos-



3. Jarjas y formeros de la bóveda.

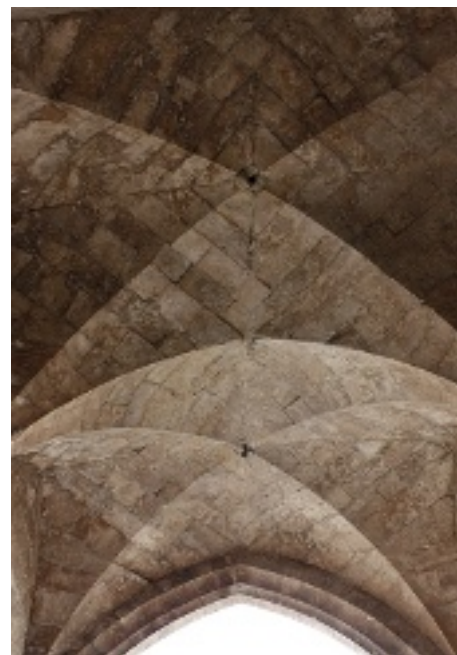
3. Springers and wall junctions of the vaults.



3

4. Vista del intradós de la bóveda, con la peculiar disposición romboidal de las juntas de lecho entre hiladas.

4. The intrados of the vault, showing the rhombus-shaped layout of the bed joints.



4

trar el virtuosismo de los maestros que construyeron la puerta; como se ha señalado en varias ocasiones, en la arquitectura valenciana del cuatrocientos los esvajes son numerosos y normalmente innecesarios, a diferencia de los pocos y obligados de épocas anteriores (Zaragoza 2000, p. 141; Gómez-Ferrer 2008, pp. 154-155).

La tribuna central se cubre, en primera planta, mediante una bóveda esviada de dos tramos, obra del maestro cantero Baldomar, en la que se abandonan las soluciones lineales de nervaduras y plementería típicas de la época para emplear únicamente piezas de piedra tallada (Figs. 3-4). Aunque formalmente recuerde a una bóveda de arista, en realidad se trata de una bóveda de crucería anervada (Garín 1962, pp. 436-437), tipología conocida también como *bóveda aristada* (Zaragoza 2008, p. 29; Zaragoza 2010).

En una bóveda de arista el proceso de generación geométrica consiste en definir los cañones, siendo las aristas resultado de su intersección. Por el contrario, en una bóveda aristada primero se definen las *aristas* y posteriormente los *paños* o superficies curvas cuyos bordes se adaptan a dichas aristas, al igual que ocurriría con los nervios y plementería de una bóveda de crucería. Sin embargo, una aristada no dispone de nervios que materialicen previamente el encuentro entre paños, cuestión que obliga a definir anticipadamente estas intersecciones, por lo general mediante el empleo de trazados a escala natural.

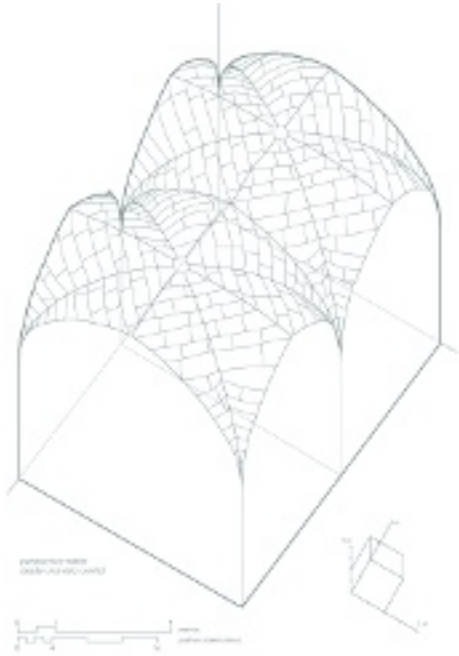
### Levantamiento fotogramétrico

En el presente trabajo se ha empleado un sistema fotogramétrico que algunos autores denominan como *foto-*

points in a number of photographs, using a specialist program. This application determines the position of the corners of the voussoirs and joint intersections; as a result, the survey represents the intrados of the member precisely. In particular, the program calculates the coordinates of each point and the error involved in this computation. In our survey of the Gates of Quart, errors are smaller than 11 mm; since the breadth of the joints in the masonry of the vaults ranges from 15 to 20 mm, such errors are practically irrelevant for our purposes. Once the points have been located in space, they can be joined by means of lines, building a wireframe model of the intrados of the member; this model can be scaled and oriented using the measurements taken on site. In theory, a single measure is sufficient for this task; however, it is advisable to take a few measurements, in order to check the accuracy of the survey. Finally, the wireframe model can be edited through the use of a CAD program in order to prepare a drawing following the usual conventions in architectural representation (Natividad 2010, pp. 31-64) (fig. 5-6).

5. Levantamiento fotogramétrico de la bóveda.  
Perspectiva militar invertida.

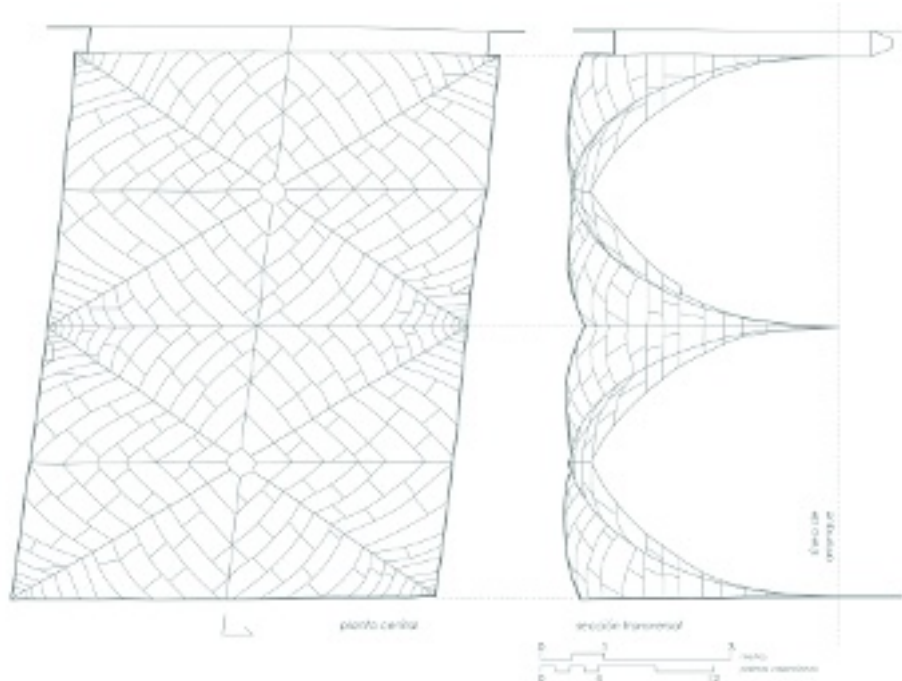
5. Photogrammetric survey of the vault.  
Inverted military perspective.



5

6. Levantamiento fotogramétrico de la bóveda.  
Planta y sección.

6. Photogrammetric survey of the vault.  
Plan and section.



6

## Geometry of the vault

The vault includes three groins, in the position of the transverse ribs of an ordinary ribbed vault; the central one divides the vault in two bays. Inside each bay there are eight additional edges of the intrados: two lateral wall junctions, two diagonal groins and four liernes connecting the center of each bay with the higher points of wall junctions and transverse groins (fig. 7). Our survey has shown that all these edges fit round and pointed arches with remarkable precision and seem to be measured in Valencian handspans (fig. 8). In particular, transverse and wall groins are pointed arches including two circular arcs, although the springers of the wall arches are slightly raised in comparison with the rest of the groins of the vault. Liernes approximate circular arcs, although other tracing methods cannot be discarded, taking into account their small dimension. As a result of the skew plan of the tribune, the spans of both diagonal groins are different; thus, the longer one takes the shape of a round arch, while the shorter one is traced as a pointed arch, in order to compensate for its

*grametría multi-imagen* y que permite obtener modelos tridimensionales a partir de fotografías. Este sistema resulta ser una herramienta muy eficiente para investigar las piezas de cantería, pues permite determinar con cierta facilidad las juntas entre dovelas y, de este modo, conocer la forma y despiece del intradós.

El trabajo de campo se reduce a obtener un conjunto de fotografías convergentes realizadas con una cámara digital de alta resolución calibrada. Además es necesario determinar la vertical y tomar al menos una medida, lo que permitirá más adelante orientar y escalar el modelo tridimensional. El trabajo de gabinete comienza con el empleo de un programa informático de fotogrametría mediante el cual se van marcando puntos homólogos sobre las diferentes fotografías, identifi-

cando los vértices de las dovelas y las intersecciones entre juntas, para que el levantamiento represente con claridad el despiece del intradós. A continuación el programa determina las coordenadas de los puntos, calculando el error obtenido, que en este caso ha sido inferior a 11 milímetros; dado que estos puntos representan las intersecciones entre juntas y que éstas tienen un espesor medio entre 1,5 y 2 cm, se puede afirmar que la desviación es irrelevante para nuestro estudio. Los puntos restituidos, unidos mediante líneas, muestran un modelo alámbrico tridimensional del intradós, que orientamos y escalamos utilizando la vertical y una de las medidas tomadas; el resto de cotas servirán para comprobar la precisión métrica del trabajo realizado. Finalmente, el modelo se procesa mediante programas de CAD



7. Vista cenital de un tramo de la bóveda, donde pueden apreciarse las aristas entre paños.

7. View of a section of the vault, showing the groins between webs.

para obtener una representación más acorde con las convenciones usuales del dibujo arquitectónico. El resultado definitivo es un levantamiento tridimensional del intradós de la bóveda, que facilita en gran medida su estudio estereotómico y la presentación bidimensional en cualquier sistema de representación (Natividad 2010, pp. 31-64) (Figs. 5-6).

### Geometría de la bóveda

La bóveda presenta tres aristas, en la posición de los arcos perpiaños, que la dividen en dos tramos; dentro de cada tramo tenemos ocho aristas más, que son dos cruceros diagonales, dos formeros laterales, y cuatro ligaduras que unen la clave principal de los cruceros con las claves de los formeros y perpiaños (Fig. 7). El levantamiento muestra que todas estas aristas se ajustan con bastante precisión a trazados circulares y apuntados, que

parecen estar medidos en pies valencianos (Fig. 8). 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, dicho sea con prudencia, puesto que al ser relativamente cortas, podrían corresponder también a otros trazados geométricos. Los cruceros son diferentes entre sí, debido al esviaje de la planta: el que salva la diagonal mayor es una semicircunferencia y el de la menor es un arco apuntado, con objeto de alcanzar la cota de la clave principal a pesar de su menor desarrollo en planta. Es bastante probable que para trazar estas aristas se utilizara una antena o regla a modo de compás, como indica la documentación histórica en el caso de otras bóvedas aristadas de Baldomar (Zaragoza 2008, p. 49). Esta técnica, descrita por Philibert de L'Orme (1567,

smaller span and meet the longest diagonal at the center of the vault. Quite probably, all these groins were traced using a long ruler as a compass, as in other Valencian vaults (Zaragoza 2008, p. 49). This technique, explained by Philibert de L'Orme (1567, f. 33 v) allows tracing easily arches with a radius in the range of 10 m; such practice makes large-scale compasses, that do not reach such lengths, unnecessary; at the same time, it eschews the use of ropes, that can lead to imprecise results as a consequence of the strain of the rope under stress. All this suggests that Baldomar traced at a first stage the groins and obtained the intrados surface as an offspring of the constructive process, rather than a previously conceived geometrical shape. The alternative hypothesis, namely, that starting from simple surfaces such as spheres, cylinders or tori, applied to a skew vault, he arrived to simple round or pointed shapes for the groins, is quite unlikely. We shall explore this idea in the next section.

### A hypothesis about the stereotomy of the vault

On close inspection, the first courses are laid with horizontal bed joints, in the well-known *tas-de-charge* solution (fig. 9). Such choice offers clear advantages, reducing the need for centering and formwork, since each course can be cantilevered over the preceding one during construction. By contrast, bed joints in the upper courses are laid out with a different orientation. Fig. 10 shows the plan, elevation and perspective of a quarter of a bay, including half diagonal groin, half transversal groin, half wall junction, two liernes and the intrados joints. Horizontal bed joints in the first courses are depicted in dotted lines; the corners of the *voussoirs* in the upper courses are joined, also by means of dotted lines, with the center of the diagonal groin. The projection plane of this elevation has been laid out obliquely, trying to show that the lines that join the *voussoir* corners with the centre of the groin are part of a set of planes passing through the centre of the diagonal groin; that is, upper courses are divided by a number of convergent planes. Next, we have checked on the three-dimensional model of the vault that apparent bed joints, showing in the intrados of the vault, follow circular arcs traced on the same planes, that is, a number of parallel, horizontal planes for the lower courses and a number of convergent



planes for the upper courses. This solution was also used by Baldomar in other occasions, in particular in the Royal Chapel in the Blackfriars Convent in the same city (Zaragozá 2010, pp. 197, 207). In particular, Sánchez Simón (2011) has pointed out that the angular amplitude of these arcs is constant for each web; it is not easy to ascertain if there is any such relation in the Gates of Quart, since in this case these arcs are not long enough to compute this ratio with precision.

Leaving this aside, we can put forward an hypothesis about the curved shape of the intrados in each course. The most probable method involves tracing on the bed joints of each course, either horizontal or convergent, circular arcs from the diagonal groins to the lateral groins, either transverse, wall-flanking or liernes. Taking as a cue a number of shapes traced on the bed faces of the voussoirs, the mason may have dressed the intrados of each voussoir. Repeating this operation for all the voussoirs of a web, the mason should materialise a double-curvature surface generated by circular arcs resting on the groins. When such process is extended to the whole vault, the result is set of surfaces whose intersections are, obviously, the previously defined groins; thus, the intrados surface is the result of a constructive process and does not adjust to a predefined shape.

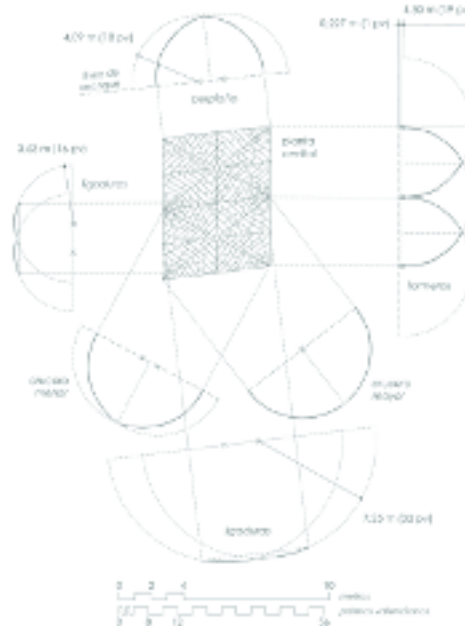
Archival documentation fosters this hypothesis. The templates for Valencian vaults of the period were prepared in glued paper for the lower courses and wood for the upper ones (Zaragozá 2008, pp. 34, 48). The ashlars for the springers could be dressed by the squaring method, taking as a reference paper templates laid over the horizontal bed joints, checking the curvature of the intrados surface using a *cerce*, that is, a curved ruler. Voussoirs for the upper courses could be dressed also by the squaring method. However, in this case the sloping bed joints should be dressed at the beginning of the dressing process from an orthogonal block with horizontal and vertical faces, as usual in the squaring method. Once the bed joints are dressed, the mason can trace the intrados joints on these voussoirs, probably using a *cerce*. When dressing the intrados surface, the mason could check its curvature using the same *cerce* or maybe a *baivel*, that is, a set square with a curved arm; this would assure the formal control of the intrados surface in two directions, both perpendicular or parallel to the intrados joint. By

8. Correspondencia geométrica de las aristas con trazados circulares y apuntados.

9. Jarja central despiezada según lechos horizontales.

8. Tracing of the groins, showing circular and pointed shapes.

9. Central springer, laid out with horizontal bed joints.



8



9

f.33v), permitiría el trazado de arcos de mayor radio que el compás de aparejador, evitando el alargamiento de la cuerda bajo tensión, que puede hacer perder precisión al trazado.

Respecto a la geometría de los paños, no es razonable pensar que los constructores emplearan superficies simples (esféricas, cilíndricas o incluso tóricas) dispuestas sobre una planta esviada, y que las intersecciones de estas superficies dieran como resultado las diferentes aristas definidas inicialmente, que son segmentos de circunferencia con radios distintos y ubicados en diferentes planos verticales no paralelos. Es más realista 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 (Natividad 2010, pp. 122-136). Y esta última opción es la hipótesis que vamos a estudiar a continuación, a la luz de los datos obtenidos del levantamiento.

### Hipótesis sobre la estereotomía de la bóveda

Si observamos las primeras hiladas, concretamente en las jarjas, se puede comprobar que se despiezan según planos horizontales a modo de *tas-de-charge*, es decir, que sus juntas o lechos son planos horizontales (Fig. 9). Esta disposición presenta la indudable ventaja de reducir las necesidades de cimbras, pues estas primeras hiladas apoyarían sobre las anteriores por vuelo sucesivo. Por el contrario, los lechos de las hiladas superiores presentan una orientación diferente. La fig.10 muestra la planta, alzado y perspectiva de un cuarto de tramo de la bóveda, com-



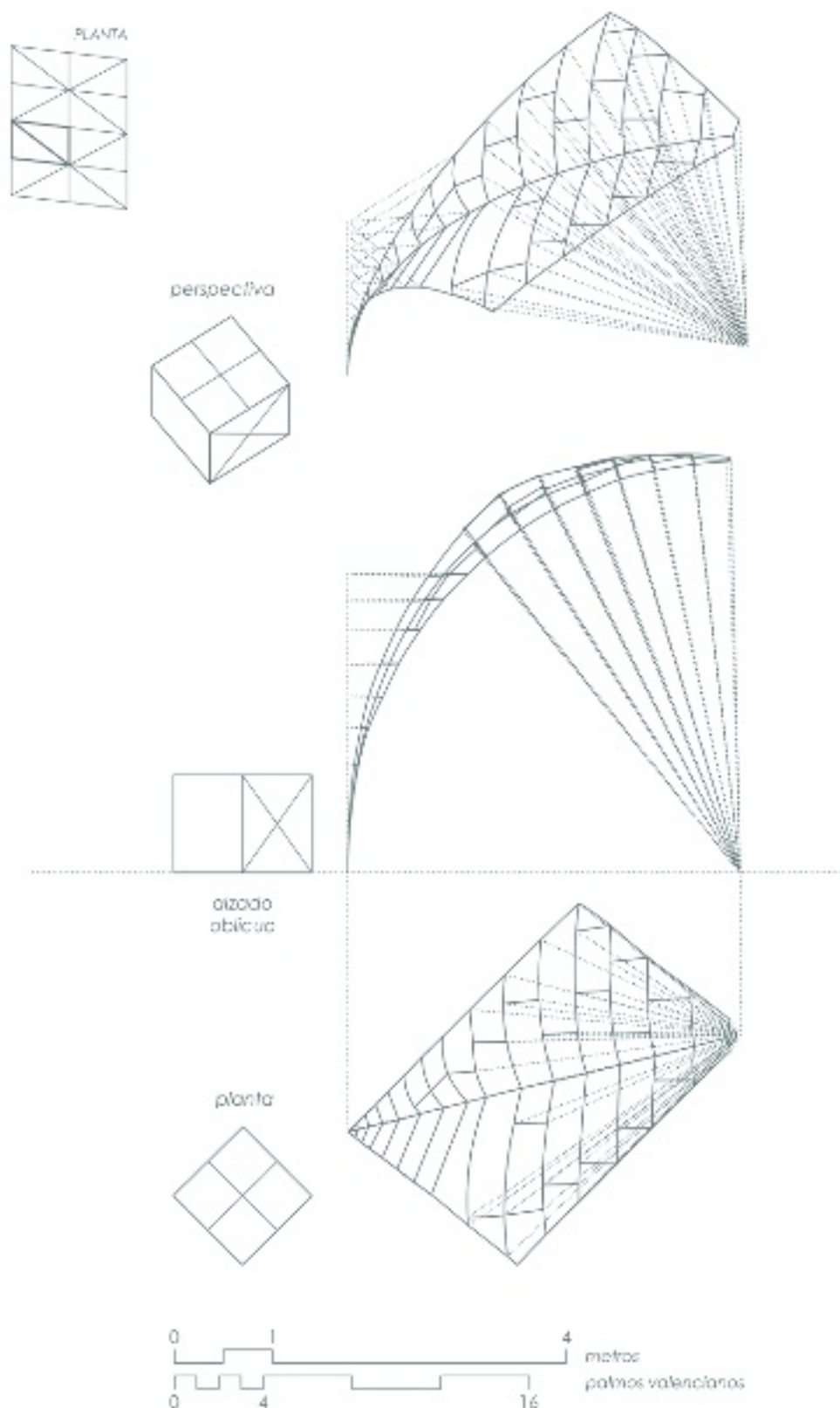
10. Disposición de los lechos para un cuarto de tramo de la bóveda.

10. Bed joints layout for a quarter of a bay.

puesto por medio crucero, medio per-  
piaño, medio formero, las dos ligadu-  
ras correspondientes y las juntas del  
intradós. Se han representado, median-  
te líneas de puntos, los planos horizon-  
tales que definen los lechos de las pri-  
meras hiladas y se han unido, también  
con líneas de puntos, los vértices de las  
dovelas de las hiladas superiores con  
el centro del arco crucero. El plano de  
proyección del alzado se ha dispues-  
to oblicuamente con objeto de mostrar  
cómo todas las líneas que unen los vé-  
rtices con el centro forman parte de un  
haz de planos, que aparecen de canto  
en el alzado, y cuya intersección pasa  
por el centro geométrico del arco cru-  
cero, lo que nos permite afirmar que  
las hiladas superiores se despiezan se-  
gún planos convergentes.

Una vez conocida la orientación de  
los planos de lecho, se ha comprobado  
sobre el modelo tridimensional que las  
juntas aparentes de los lechos en el in-  
tradós vienen definidas según arcos de  
circunferencia dispuestos en los mis-  
mos planos de lecho, esto es, en planos  
horizontales para el caso de las prime-  
ras hiladas y en planos convergentes  
para el caso de las hiladas superiores.  
Esta solución se aplica también en otras  
bóvedas aristadas de Baldomar, en par-  
ticular la de la capilla real del con-  
vento de Santo Domingo en la misma  
ciudad (Zaragoza 2010, pp. 197, 207).  
Por otra parte, Sánchez Simón (2011)  
ha señalado que la amplitud angular  
de estos arcos es constante para cada  
plamiento de la bóveda; más difícil re-  
sulta determinar si existen relaciones  
de este tipo en la bóveda de la tribu-  
na del Portal de Quart, donde estos seg-  
mentos son relativamente cortos.

En cualquier caso, sabemos que  
existen unas primeras hiladas despie-  
zadas según planos horizontales y unas  
hiladas superiores despiezadas según





contrast with the springers, upper courses need substantial centering and formwork in order to assure their correct placement.

In other words, both the orientation of the bed joints and the voussoir dressing method resemble the methods used when tracing, quartering and dressing Gothic vaults (Willis 1842; Rabasa 1996; Palacios 2009, pp. 97-116). In any case, a number of adaptations must be made, since Gothic techniques must be applied to the dressing of wide surfaces, since the main goal is not dressing linear ribs, but rather controlling the shape of whole webs in hewn stone.

To conclude, the vault over the tribune in the Gates of Quart eschews, almost for the first time in Iberian architecture, the linear solutions based on rib and severies, using only whole ashlars. Such a choice poses new constructive problems, more akin to Renaissance stereotomy than Mediaeval stonemasonry. However such a challenge is confronted using a deep mastery of Gothic construction methods, together with some innovative solutions. Geometrically, this vault is laid out as a conventional rib vault, substituting groins for diagonal and transverse ribs, wall arches and liernes. From a constructive standpoint, dressing methods used in the springers and the ribs of Gothic vault are adapted to larger web surfaces, using templates laid on the bed joints, either horizontal or convergent, in order to dress the stones by squaring and check the intrados curvature by means of a *cerce* or *baivel*. ■

## References

- FERNÁNDEZ CORREAS, L. 2007. La ingeniería al servicio de las puertas de la ciudad: el caso del Portal de Quart. *Actas del V Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, pp. 275-284. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- GARÍN ORTIZ DE TARANCO, F.M. 1962. Una posible escuela hispanolevantina de crucerías anervadas. *Homenaje al Profesor Cayetano Mergelina*, pp.431-439. Universidad de Murcia.
- GÓMEZ-FERRER, M. y ZARAGOZÁ CATALÁN, A. 2008. Lenguajes, fábricas y oficios en la arquitectura valenciana del tránsito entre la Edad Media y la Edad Moderna (1450-1550). *Artígrama*, nº 23, pp.149-184. Universidad de Zaragoza.
- L'ORME, Philibert. 1567. *Le premier tome de l'Architecture*. Paris: Frédéric Morel.
- NATIVIDAD VIVÓ, P. 2010. *Análisis estereotómico de bóvedas del Portal y las Torres de Quart*. Master's thesis in Conservation of Architectural Heritage. Universidad Politécnica de Valencia.

planos convergentes. A partir de aquí podemos plantearnos cómo se define la forma curva del intradós de cada una de las hiladas. El procedimiento sería el mismo para cualquier hilada pues consistiría en trazar, sobre los planos de lecho (horizontales o convergentes) de la hilada deseada, las curvas circulares que van desde las aristas diagonales (arcos cruceros) a las aristas laterales (arcos perpiaños, formeros o ligaduras, según el caso). Tomando como referencia estas curvas trazadas en los lechos, el cantero podría labrar el intradós de las dovelas de la hilada correspondiente. Si repetimos la operación para todas las hiladas de un mismo paño, se obtiene una superficie curva que viene definida por segmentos de círculo trasladándose a lo largo de las aristas. Extendiendo el proceso a toda la bóveda, generaríamos un intradós compuesto por un conjunto de superficies curvas cuyas intersecciones son, evidentemente, las aristas que fueron definidas previamente. Y como ya se había indicado anteriormente, las superficies curvas serían resultado del propio proceso constructivo.

Abonaría esta hipótesis la documentación de archivo, que demuestra que en la construcción de esta y otras bóvedas aristadas se empleaban dos tipos de plantillas: unas de papel encolado para la ejecución de las jarjas, y otras de madera para tender las bóvedas (Zaragoza 2008, pp. 34, 48). Bien podría ser que las dovelas de las jarjas se labraran por el método de los *robos*, utilizando las referencias proporcionadas por las plantillas de papel encolado dispuestas en los lechos y sobrelechos horizontales de las escuadrías, y comprobando la concavidad del intradós mediante una cercha. Estas dovelas se encastrarían en el inte-

rior del muro, y apoyarían unas sobre otras sin necesidad de cimbra. Por su parte, las dovelas de las hiladas superiores se labrarían también por robos, pero en este caso primero habría que tallar las caras superior e inferior de la escuadría para conseguir la orientación convergente de los lechos. Posteriormente se trazarían las curvas circulares de referencia sobre los lechos, con la ayuda, quizá, de una cercha o incluso de una antena o regla en funciones de compás. En estas dovelas, la concavidad del intradós se comprobaría utilizando un baivel o una cercha de madera, lo cual facilitaría la revisión de la correcta curvatura en los dos sentidos de la superficie curva, es decir, según los planos convergentes y perpendicularmente a los mismos. Estas hiladas superiores necesitarían un sistema de cimbraje que sería retirado al cerrar la bóveda completamente.

De acuerdo con este planteamiento, tanto la orientación de los lechos como el procedimiento de labra de las dovelas son en realidad una adaptación de la manera de trazar, despiezar y labrar las jarjas y nervios de las bóvedas de crucería góticas (Willis 1842; Rabasa 1996; Palacios 2009, pp. 97-116). Tan sólo son necesarias ciertas modificaciones que permitan la aplicación de las técnicas góticas a la labra de superficies curvas relativamente amplias, pues como ya se ha indicado anteriormente, no se trata de tallar las dovelas de nervios lineales sino que se deben definir y construir paños completos con piedra labrada.

En definitiva, en esta bóveda se abandonan las soluciones lineales de nervios y plementería para ejecutar todo el intradós únicamente con piedra de cantería. Esta disposición plantea nuevos problemas constructivos; sin embargo, el reto se afronta desde un



completo dominio de los trazados y técnicas góticas. Formalmente, la bóveda se configura al modo de las bóvedas de crucería convencionales, empleando aristas como arcos cruceros, perpiaños, formeros y ligaduras, y supereditando la geometría de los paños a la definición previa de dichas aristas. Y constructivamente, se adaptan los procedimientos de labra empleados en jarjas y nervios a superficies curvas de mayor envergadura, empleando referencias en los lechos y sobrelechos (horizontales o convergentes) de las piedras para labrarlas por robos, comprobando su concavidad con cercha o baivel. ■

- WILLIS, R. 1842. *On the construction of the vaults of the Middle Ages*. Transactions of the Institute of British Architects.
- ZARAGOZA CATALÁN, A. 2000. *Arquitectura gótica valenciana*. Valencia: Generalitat Valenciana.
- ZARAGOZA CATALÁN, A. 2008. *El arte de corte de piedras en la arquitectura valenciana del cuatrocientos: un estado de la cuestión*. Discurso de ingreso, Real Academia de Bellas Artes de San Carlos. Valencia.
- ZARAGOZA CATALÁN, A. 2010. Cuando la arista gobierna el aparejo: bóvedas aristadas. *Arquitectura en construcción en Europa en época medieval y moderna*, pp. 177-214 (coord. A. Serra Desfilis). Universidad de Valencia.

#### Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto de Investigación "Construcción en piedra de cantería en los ámbitos mediterráneo y atlántico" (BIA2009-14350-C02-02)", financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España, en el contexto del Plan Nacional de I+D+i.

Los autores desean agradecer al Ayuntamiento de Valencia, y concretamente al Servicio de Patrimonio Histórico y Cultural, Sección de Museos y Monumentos, las facilidades ofrecidas para la toma de fotografías y medidas de la bóveda del Portal de Quart.

- PALACIOS GONZALO, J.C. 2009. *La cantería medieval. La construcción de la bóveda gótica española*. Madrid: Munilla-Leria.
- SÁNCHEZ JIMÉNEZ, M. (coord.). 1995. *Castillos, torres y fortalezas de la Comunidad Valenciana*. Valencia: Editorial Prensa Valenciana.
- SÁNCHEZ SIMÓN, Ignacio. 2011. Traza y monte de la bóveda de la Capilla Real del convento de Santo Domingo de Valencia. La arista del 'Triángulo de Reuleaux' entre las aristas de la bóveda. *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, vol. 2, pp. 1301-1309. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- RABASA DÍAZ, E. 1996. Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI. *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, pp.423-433. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- WILLIS, R. 1842. *On the construction of the vaults of the Middle Ages*. Transactions of the Institute of British Architects.
- ZARAGOZA CATALÁN, A. 2000. *Arquitectura gótica valenciana*. Valencia: Generalitat Valenciana.
- ZARAGOZA CATALÁN, A. 2008. *El arte de corte de piedras en la arquitectura valenciana del cuatrocientos: un estado de la cuestión*. Discurso de ingreso, Real Academia de Bellas Artes de San Carlos. Valencia.
- ZARAGOZA CATALÁN, A. 2010. Cuando la arista gobierna el aparejo: bóvedas aristadas. *Arquitectura en construcción en Europa en época medieval y moderna*, pp.177-214 (coord. A. Serra Desfilis). Universidad de Valencia.

#### Referencias

- FERNÁNDEZ CORREAS, L. 2007. La ingeniería al servicio de las puertas de la ciudad: el caso del Portal de Quart. *Actas del V Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, pp.275-284. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- GARIN ORTIZ DE TARANCO, F.M. 1962. Una posible escuela hispanolevantina de crucerías anervadas. *Homenaje al Profesor Cayetano Mergelina*, pp.431-439. Universidad de Murcia.
- GÓMEZ-FERRÉ, M. y ZARAGOZA CATALÁN, A. 2008. Lenguajes, fábricas y oficios en la arquitectura valenciana del tránsito entre la Edad Media y la Edad Moderna (1450-1550). *Artigrama*, nº 23, pp.149-184. Universidad de Zaragoza.
- L'ORME, Philibert. 1567. *Le premier tome de l'Architecture*. Paris: Frédéric Morel.
- NATIVIDAD Vivó, P. 2010. *Análisis estereotómico de bóvedas del Portal y las Torres de Quart*. Trabajo final del Máster Oficial en Conservación del Patrimonio Arquitectónico. Universidad Politécnica de Valencia.
- PALACIOS GONZALO, J.C. 2009. *La cantería medieval. La construcción de la bóveda gótica española*. Madrid: Munilla-Leria.
- SÁNCHEZ JIMÉNEZ, M. (coord.). 1995. *Castillos, torres y fortalezas de la Comunidad Valenciana*. Valencia: Editorial Prensa Valenciana.
- SÁNCHEZ SIMÓN, Ignacio. 2011. Traza y monte de la bóveda de la Capilla Real del convento de Santo Domingo de Valencia. La arista del 'Triángulo de Reuleaux' entre las aristas de la bóveda. *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, vol. 2, pp. 1301-1309. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- RABASA DÍAZ, E. 1996. Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de crucería españolas del siglo XVI. *Actas del I Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, pp. 423-433. Madrid: Instituto Juan de Herrera.



#### Acknowledgments

This paper is included in the research project "Stonecutting technology in the Mediterranean and Atlantic areas. Survey and analysis of built examples" (BIA2009-14350-C02-02), which is sponsored by the Ministry of Economy and Competitiveness of the Spanish Government. The authors wish to thank the Valencia Town Hall, in particular the Historical and Cultural Heritage Service, Museums and Monuments Section, for their kind permission and assistance while photographing and measuring the Gates of Quart.