

FORMA Y CONSTRUCCIÓN EN BÓVEDAS DE LADRILLO POR HOJAS: EL CASO DE CÁCERES

FORM AND CONSTRUCTION IN BRICK VAULTS BY SLICES: THE CASE OF CÁCERES

Ana López-Mozo;
orcid 0000-0001-6436-6114
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Miguel Ángel Alonso-Rodríguez;
orcid 0000-0001-5841-4458
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Ana González Uriel;
orcid 0000-0001-8511-6720
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Licinia Aliberti;
orcid 0000-0003-3925-4852
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

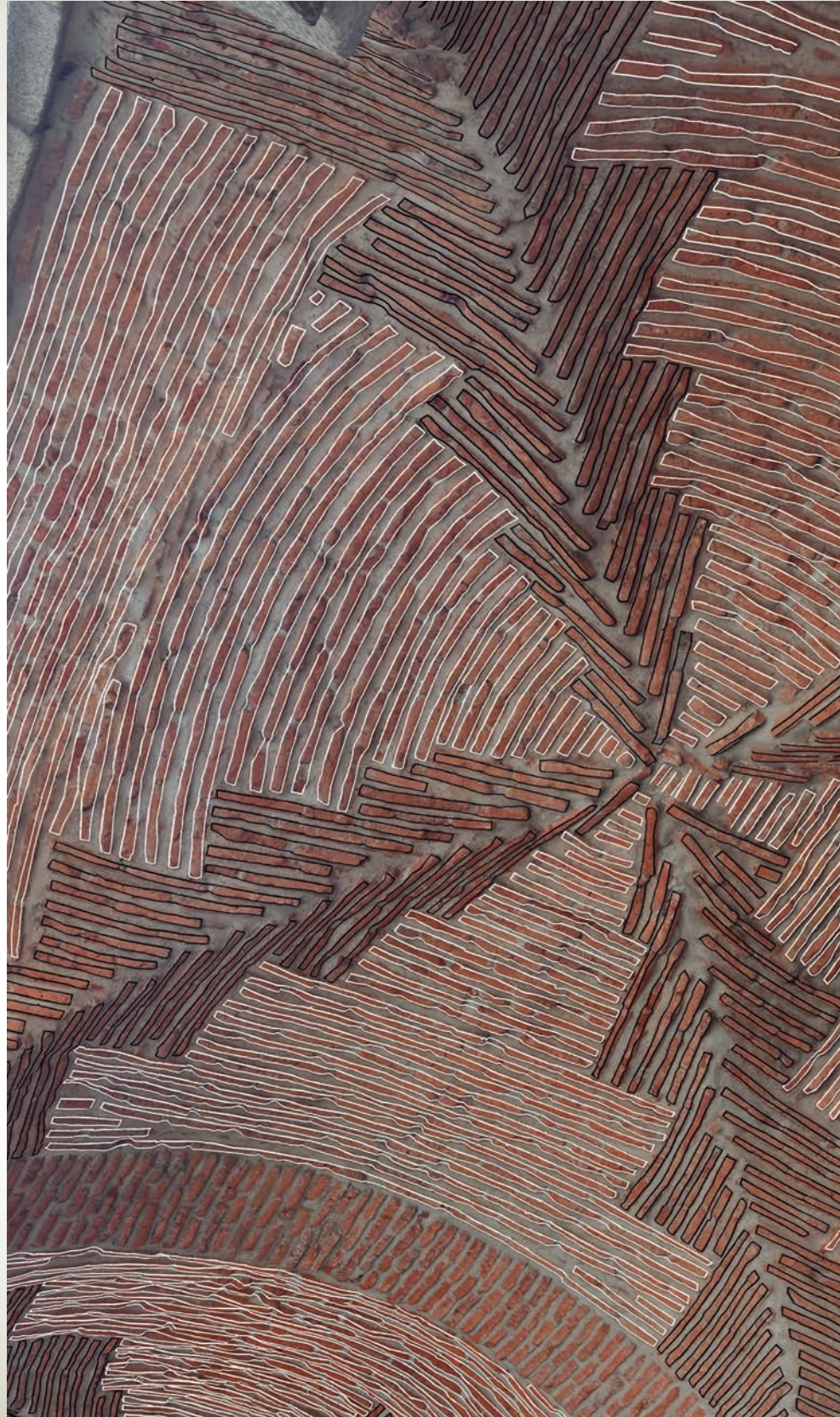
Marta Perelló Ocaña;
orcid 0000-0002-5951-0553
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Manuel de Miguel Sánchez;
orcid 0000-0002-1803-2428
UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

doi: 10.4995/ega.2023.19666

1. Modelo digital de trabajo con las hiladas
señaladas (dibujo de los autores)

1. Digital working model with course edges drawn
on the mesh (drawing by the authors)





En el marco de un proyecto de investigación sobre usos históricos y posibilidades actuales de la técnica de bóvedas de ladrillo por hojas, este trabajo estudia los casos de la ciudad de Cáceres, uno de los principales focos peninsulares. A partir de un levantamiento por fotogrametría y escáner láser de 32 bóvedas, se determina forma y aparejo, similitudes o diferencias con otros casos históricos y se deducen aspectos del proceso constructivo, que muestra escaso control material de la forma y un diseño general muy versátil. Además, se establecen nuevas metodologías gráficas de análisis extrapolables a otros casos.

PALABRAS CLAVE: BÓVEDAS DE LADRILLO POR HOJAS, BÓVEDAS EXTREMEÑAS, CHOISY, PAREDES

Introducción

En las bóvedas por hojas los ladrillos se disponen con las tablas verticales o ligeramente inclinadas, en hiladas según arcos delgados que muestran al interior testas o cantos, y no requieren cimbra.

Los ejemplos de bóvedas por hojas más antiguos, de adobe, se localizan en Mesopotamia y Egipto hacia el s. XIII a.C. Empleando ladrillo, el imperio bizantino hizo un uso extraordinario del sistema, que se expandió por toda la cuenca mediterránea. Desde España y Portugal habría saltado a México, donde la tradición sigue viva. En la Península Ibérica hay muchos casos hasta principios del s. XX, especialmente en los dos tercios meridionales, destacando por sus soluciones particu-

Within the framework of a research project on historical uses and current possibilities of the brick vaults by slices technique, this work studies the cases of the city of Cáceres, one of the main peninsular foci. From a survey by photogrammetry and laser scanning of 32 vaults, shape and brick arrangement and similarities or differences with other historical cases are determined, and aspects of the construction process are deduced, showing scarce material control and a versatile general design. In addition, new graphic analysis methodologies that can be extrapolated to other cases are established.

KEYWORDS: BRICK VAULTS BY SLICES, EXTREMADURAN VAULTS, CHOISY, PAREDES

Introduction

Vaults by slices feature bricks arranged with their beds vertical or slightly inclined, in courses according to thin arches that show the narrow brick faces on the intrados, and do not require formwork.

The oldest examples of vaults by slices, made with adobe, were built in Mesopotamia and Egypt around the thirteenth century BC. Using brick, the Byzantine empire made an extraordinary use of the system, which spread throughout the Mediterranean basin. From Spain and Portugal, it would have jumped to Mexico, where the tradition is still alive today. Many examples, built until the beginning of the twentieth century, are preserved in the Iberian Peninsula, especially in the southern two thirds, where Extremadura and the Portuguese Alentejo stand out for their particular solutions and great number of cases.

This work studies the vaults by slices of the city of Cáceres, one of the main foci of the Extremaduran technique 1. There are

few studies on the constructive configuration of historical vaults by slices from rigorous surveys (López-Mozo et al. 2021 and 2022; Natividad-Vivó et al. 2021). The objectives are to date the vaults, determine their general form, brick arrangement, construction process data and design reasons, in the context of the other known cases. In addition, it is intended to establish a graphic analysis methodology that can be extrapolated to other brick vaults studies. The data collection has been carried out through automated photogrammetry and laser scanning, to generate a three-dimensional model on which contour lines, sections, perimeter arches and course edges have been drawn to analyse its configuration (Fig. 1).

11 case studies have been selected in the historic center of Cáceres: Torre de Bujaco, fifteenth century (Márquez and Gurriarán 2003, 66); Palacio de Torreorgaz, currently Parador de Turismo, built in the fifteenth century and reformed in the seventeenth and eighteenth centuries (García Duque 1976, 329); Casa de los Becerra, second half of the fifteenth century (Ramos and Gómez 2021, 68); Casa del Mono, late fifteenth century, (Lozano 1980, 214-215); Palacio de Hernando de Ovando, currently City Council Tourism Office, sixteenth century (Lozano 1980, 217); Palacio de Oquendo, currently NH Hotel, late sixteenth century (Mayoralgo 1991, 317-19); Casa de las Veletas, late fifteenth century (Lozano 2004, 49); Palacio de Camarena, seventeenth century (Lozano 1980, 210); Ermita de la Paz, 1736 (Corrales 1998, 26 and 60-64); Arco de Santa Ana, 1746 (Lozano 1980, 66) and Arco de Mayoralgo, late eighteenth century (Mayoralgo 2004, 126). A total of 76 vaults have been inspected in the 11 cases, digital models of 64 vaults have been obtained and 32 have been studied in detail, located in 10 of the aforementioned buildings (Fig. 2).

General form

The determination of the general form is addressed first and the arrangement of the bricks secondly, to finally draw conclusions about the construction process. The most frequent plan shape is irregular, since 42 trapezoidal plans, 12 square and 10 rectangular ones can be identified in the 64 digital models. Regarding perimeter arches, the authors who have addressed the issue



2

lares y profusión de ejemplos Extremeñada y el Alentejo portugués.

Este trabajo estudia las bóvedas por hojas de la ciudad de Cáceres, uno de los focos principales de la técnica extremeña 1. Son escasos los estudios sobre configuración constructiva de bóvedas históricas

por hojas desde levantamientos rigurosos (López-Mozo et al. 2021 y 2022; Natividad-Vivó et al. 2021). Los objetivos son datar las bóvedas, determinar su forma general, aparejo, datos del proceso constructivo y razones de diseño, en el contexto del resto de casos conocidos. Ade-



2. Ermita de la Paz (arriba) y Casa de las Veletas (abajo). (Fotografías de los autores, 2022)
3. Configuración formal de una bóveda de arista extremeña según Fortea y López (2012, p. 52)

2. Ermita de la Paz (top) and Casa de las Veletas (bottom). (Photographs by the authors, 2022)
3. Formal configuration of a Extremaduran groin vault, according to Fortea and López (2012, 52)

más, se pretende establecer una metodología gráfica de análisis extrapolable a otras bóvedas de ladrillo. La toma de datos se ha realizado con fotogrametría automatizada y escáner láser, generando un modelo tridimensional sobre el que se han dibujado líneas de nivel, secciones, arcos perimetrales y bordes de las hiladas para analizar su configuración (Fig. 1).

Se han seleccionado 11 casos de estudio en el centro histórico de Cáceres: Torre de Bujaco, s. xv (Márquez y Gurriarán 2003, 66); Palacio de Torreorgaz, actualmente Parador de Turismo, construido en el s. xv y reformado en los ss. xvii y xviii (García Duque 1976, 329); Casa de los Becerra, segunda mitad del s. xv (Ramos y Gómez 2021, 68); Casa del Mono, finales del s. xv, (Lozano 1980, 214-215); Palacio de Hernando de Ovando (actualmente Concejalía de Turismo), s. xvi (Lozano 1980, 217); Palacio de Oquendo, actualmente Hotel NH, finales del s. xvi (Mayoralgo 1991, 317-19); Casa de las Veletas, finales del s. xv (Lozano 2004, 49); Palacio de Camarena, s. xvii (Lozano 1980, 210); Ermita de la Paz, 1736 (Corrales 1998, 26 y 60-64); Arco de Santa Ana, 1746 (Lozano 1980, 66) y Arco de Mayoralgo, finales del s. xviii (Mayoralgo 2004, 126). En los 11 casos se ha inspeccionado un total de 76 bóvedas, se ha obtenido un modelo digital de 64 y se han estudiado en detalle 32, localizadas en 10 de los edificios mencionados (Fig. 2).

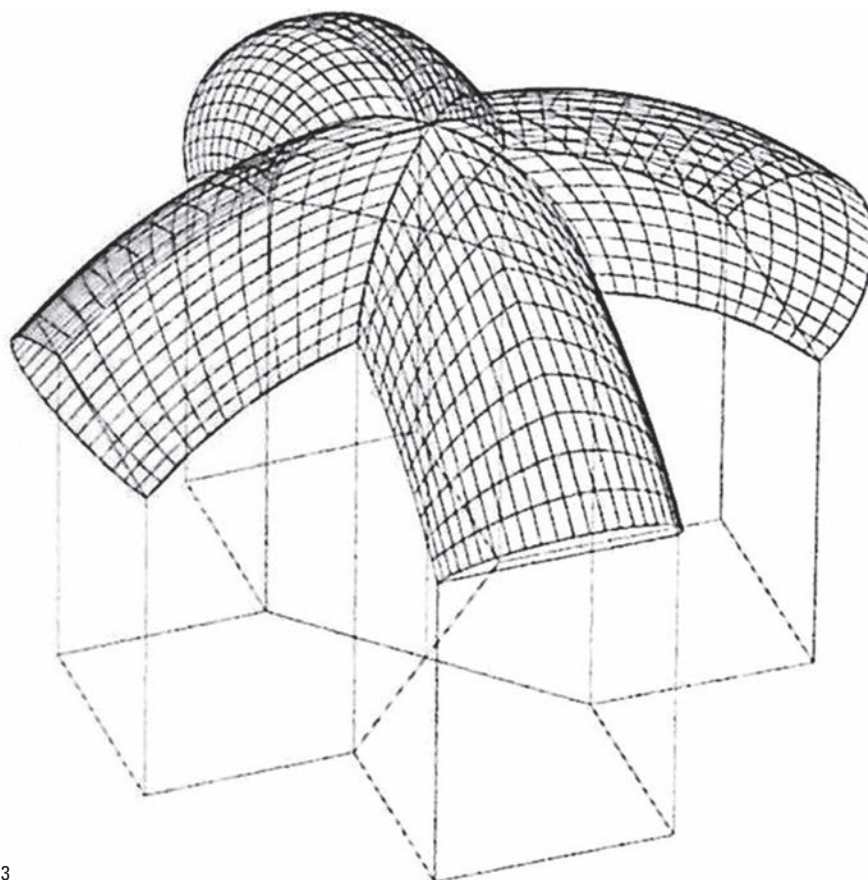
La forma general

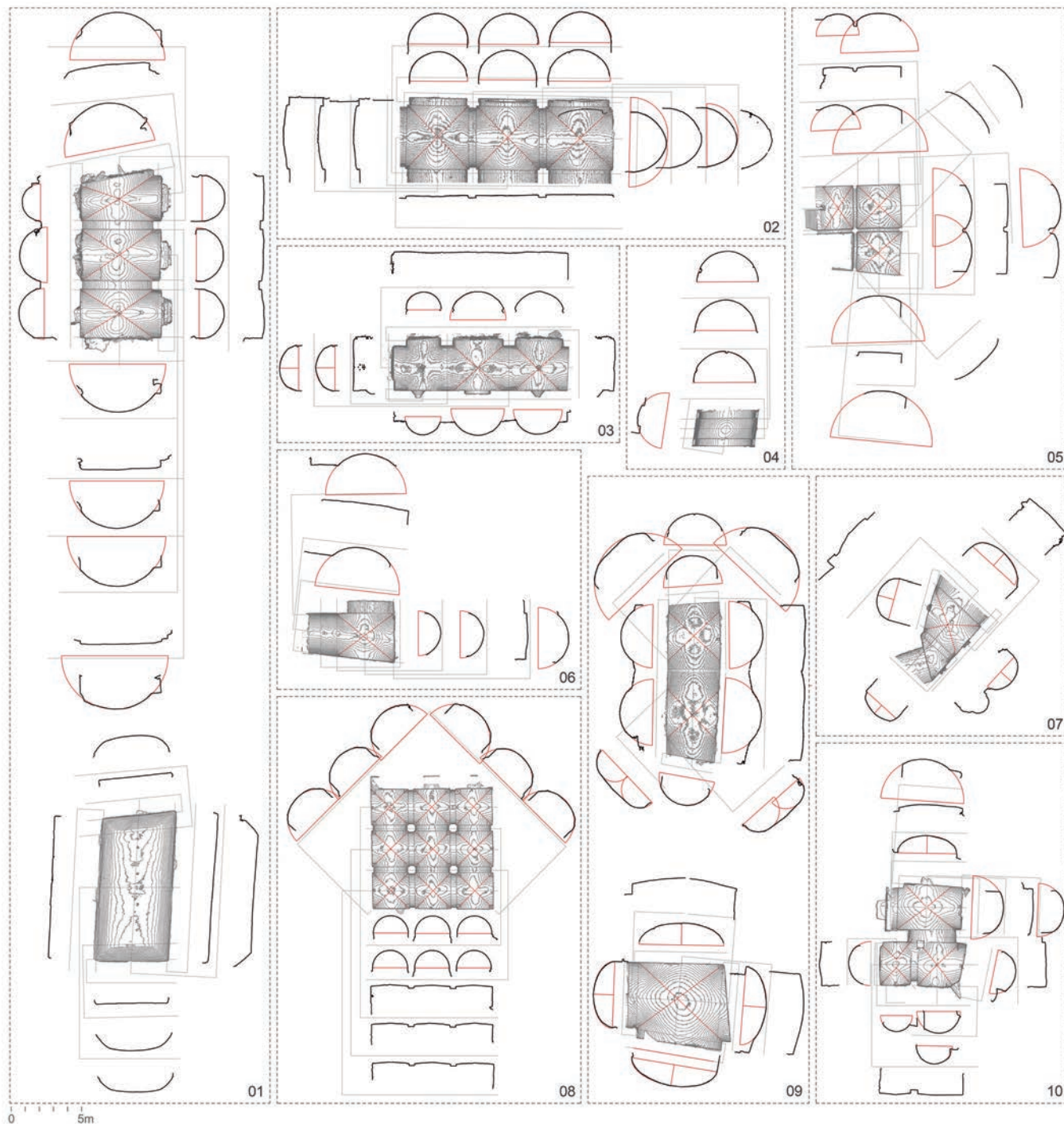
Se aborda primero la determinación de la forma general y luego la disposición de los ladrillos, para extraer después conclusiones sobre el

proceso constructivo. La forma de la planta más frecuente es irregular, pues en los 64 modelos digitales se reconocen 42 plantas trapezoidales, 12 cuadradas y 10 rectangulares. Sobre los arcos perimetrales, los autores que han abordado el tema afirman que la bóveda extremeña tiene las embocaduras elípticas (Fortea y López 2012, 19; López y López 2015, 949). Fortea y López indican además que las secciones diagonales son también elípticas, y que la forma general surge de la intersección de dos toroides, resultando una clave central más alta que los arcos perimetrales (Fortea y López 2012, 19) (Fig. 3). Esta elevación de la clave central se denomina *retumbo* en Extremadura.

state that the Extremaduran vault ones are elliptical (Fortea and López 2012, 19; López and López 2015, 949). In addition, Fortea and López indicate that diagonal sections are also elliptical, and that the general shape arises from the intersection of two toroids, resulting in a central keystone higher than perimeter arches (Fortea and López 2012, 19) (Fig. 3). This elevation of the central key is called *retumbo* in Extremadura.

Only two of the study cases have all their perimeter arches elliptical: one of the vaults of Casa de los Becerra and the Arco de Santa Ana. In the portico of the Ermita de la Paz and in the Tourism Office some arches could also be elliptical. The rest are circular, mostly segmental, and some semicircular (Fig. 4). The general form is mostly groined (30 cases out over 32), but matching what is known as Extremaduran groin vault, more closely related to Byzantine vaults than to the groin vault formed by the intersection of two cylinders.





The contour lines describe the shape properly and indicate the differences that are being highlighted (Fig. 4). Both Extremaduran and Byzantine vaults seem to be an intermediate case between cylindrical groin vaults and spherical sail vaults. In fact, Choisy considered the sail vault as a particular case of the Byzantine groin vault (1899, volume II, 9-11). This author synthesizes what he calls "Byzantine layout" in a vault with a square floor plan, semicircular perimeter arches, *retumbo* of 1/10 of the span, and a segmental diagonal section (Fig. 5).

Sólo dos de los casos estudiados aquí tienen todos los arcos perimetrales elípticos: una de las bóvedas de la Casa de los Becerra y el Arco de Santa Ana. En el pórtico de la ermita de la Paz y la Concejalía de Turismo algunos arcos podrían ser también elípticos. El resto son circulares, en su mayoría escarzanos, y algunos de medio punto (Fig. 4).

La forma general es mayoritariamente de arista (30 casos de los

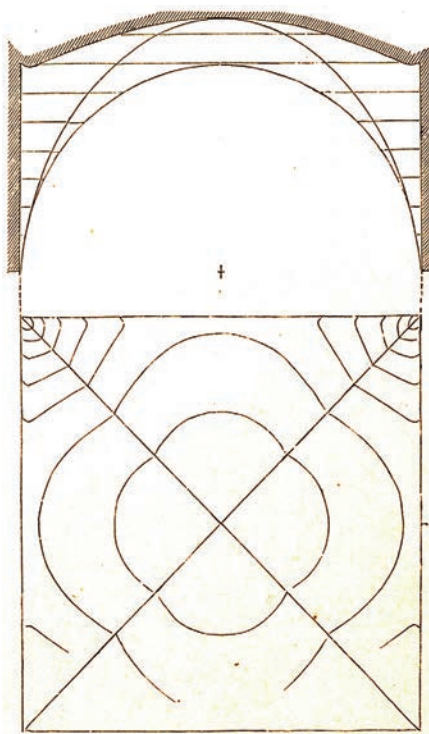
32 estudiados), pero del tipo que se viene denominando *bóveda de arista extremeña*, más relacionado con las bóvedas bizantinas que con la bóveda de arista formada por intersección de dos cilindros. Las líneas de nivel describen bien la forma y señalan las diferencias que se están indicando (Fig. 4). Tanto las bóvedas extremeñas como las bizantinas parecen ser un caso intermedio entre bóvedas de arista cilíndricas y



4. Forma general de las bóvedas estudiadas: plantas con líneas de nivel cada 5 cm, arcos perimetrales y secciones. La numeración, utilizada también en el resto de las figuras, designa: Hotel NH, 01; Casa de las Veletas, 02; Pórtico de la Ermita de la Paz, 03; Arco de Mayoralgo, 04; Casa del Mono, 05; Cafetería del Parador de Turismo, 06; Arco de Santa Ana, 07; Torre de Bujaco, 08; Casa de los Becerra, 09 y Concejalía de Turismo, 10 (dibujos de los autores)

5. Choisy 1883, p. 54

4. General form of the studied vaults: plans with contour lines each 5 cm, perimeter arcs and sections. The numbering, also used in the rest of the figures, designates: NH Hotel, 01; Casa de las Veletas, 02; Portico of Ermita de la Paz, 03; Arco de Mayoralgo, 04; Casa del Mono, 05; Bar at the Parador de Turismo, 06; Arco de Santa Ana, 07; Torre de Bujaco, 08; Casa de los Becerra, 09 and City Council Tourism Office, 10 (drawings by the authors)



5

vaídas esféricas. De hecho, Choisy contemplaba la bóveda vaída como un caso particular de la de arista bizantina (1899, tomo II, 9-11). Este autor sintetiza lo que denomina “trazado bizantino” en una bóveda de planta cuadrada, arcos perimetrales de medio punto, *retumbo* de 1/10 de la luz, y sección diagonal escarzana (Fig. 5).

Los ejemplos históricos conservados muestran muchos casos intermedios donde es difícil determinar si hay una arista un poco entrante o no; si la forma se acerca más a una bóveda de arista o a una bóveda vaída. Por ello se ha buscado un parámetro que permita definir el grado de pronunciamiento de la arista de una bóveda bizantina o extremeña, a partir de la línea de nivel que pasa por la clave de los arcos perimetrales. Para ello se ha definido el valor b , cociente entre la distancia en planta del centro de la bóveda al punto de la línea de nivel mencionada situado en el plano diagonal (a) y la semi-luz de la bóveda ($l/2$): $b=a/l:2$. Este valor es 0 para una bóveda de arista cilíndrica y 1 para una bó-

veda vaída (Fig. 6). Esta operación tiene sentido cuando las claves están a altura uniforme. Las bóvedas carcereñas que cumplen esa condición presentan valores de b entre 0,62 y 0,79, es decir, en el entorno del 0,73 que tiene la bóveda del trazado bizantino de Choisy (Fig. 7).

Parece oportuno, pues, entender la bóveda de arista bizantina como un caso intermedio entre una de arista cilíndrica y una vaída. Su diseño es el más versátil, porque puede adaptarse a diferentes tipos de planta, arcos perimetrales o flecha central. En una planta rectangular, donde la bóveda de arista cilíndrica es complicada, el diseño bizantino es más eficaz.

Las aristas de las bóvedas analizadas no siempre están en un único plano, y cuando es así (05, 08 y 09 en la Fig. 4) sólo muestran una forma identificable en la Torre de Bujaco (08), donde parecen arcos escarzanos. Choisy señaló que la bóveda bizantina tiene una pequeña inflexión cerca del perímetro (Fig. 5 y Fig. 6, centro); en la muestra estudiada no se aprecia, quizá

The preserved historical examples show many intermediate cases where it is hard to determine whether or not there is a protruding diagonal edge; i.e. if the shape is closer to a groin vault or a sail vault. For this reason, a parameter intended to measure the depth of a Byzantine or Extremaduran vault edge has been sought, based on the analysis of the contour line passing through the highest point of the perimeter arches. For this purpose, the value b has been defined as a ratio between the horizontal distance from the centre of the vault to the point of the aforementioned contour line located on the diagonal plane (a) and the semi-span of the vault ($l/2$): $b=a/l:2$. This value is 0 for a cylindrical groin vault and 1 for a sail vault (Fig. 6). This operation makes sense when the heights of the perimeter arches are uniform. Cáceres vaults matching this condition present values of b between 0.62 and 0.79, that is, around 0.73, which is the value of Choisy's Byzantine vault layout (Fig. 7). It seems interesting then to understand the Byzantine groin vault as an intermediate case between a cylindrical groin vault and a sail vault. Its design is the most versatile, as it can be adapted to different types of plans, perimeter arches or central height. On a rectangular plan, where the cylindrical groin vault gives rise to many problems, the Byzantine design is far more effective. The diagonal lines of the studied vaults are not always in a single plane, and when they are (05, 08 and 09 in Fig. 4) they only show an identifiable shape in Torre de Bujaco (08), where they appear to be segmental arches. Choisy noted that the Byzantine vault has a small inflexion close to the perimeter (Fig. 5 and Fig. 6, centre), but in the study cases this is not appreciated, perhaps because it is especially evident when the perimeter arches are semicircular. If the arches are segmental, the inflexion is less noticeable; in fact, such arrangement is the one recommended by Choisy in order to avoid its appearance (1883, 56). Longitudinal and transverse sections show a variety of shapes, matching frequently a straight line in one or two parts or a circle, but in no case an ellipse, which is one of the options indicated by Paredes (1883, 46). The *retumbo*, rise of the central vault point with respect to the perimeter arches, is very

irregular, with values between 0 and 8.2% of the span (with an average value of 3.7%), but always lower than that of Choisy's Byzantine theoretical layout, which is 10%. The end points of a section often feature different heights. López and López place the value of *retumbo* in Extremaduran vaults between 3 and 4% of the span (2015, 949). Paredes says *mira* instead of *retumbo* and sets the normal values between 1/20 and 1/30 of the span (5%-3.3%), although it can reach 1/10 (10%) "if the bricklayers are not used to build the vaults" (Paredes ca. 1883, 109).

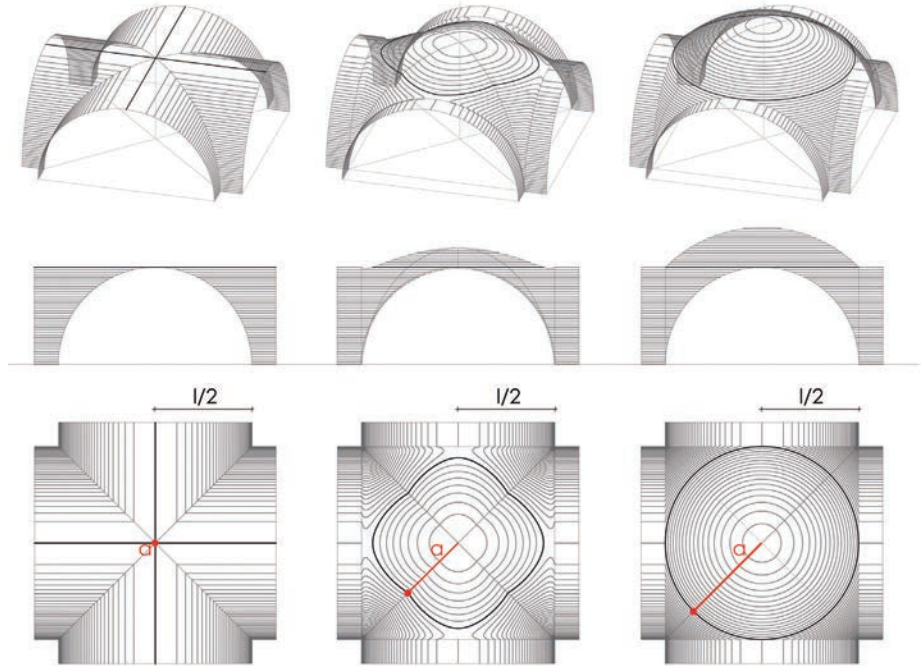
Brick arrangement

Written sources addressing the subject in depth (Choisy 1876 and 1883; Paredes ca. 1883) and the real cases indicate that slices are fundamentally flat, vertical or inclined, or truncated cones with a horizontal or inclined axis, all with apparent courses according to flat curves (Fig. 8). In addition, there are slices with warped apparent courses, also reported in written sources (Fig. 9).

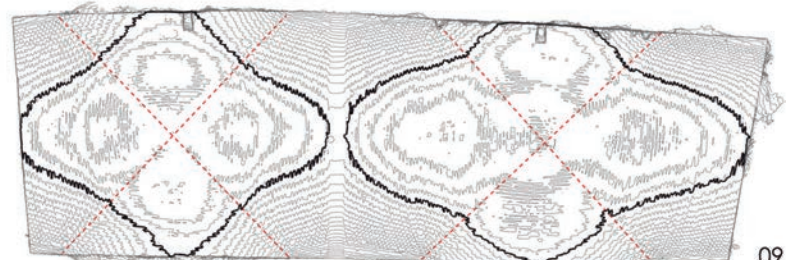
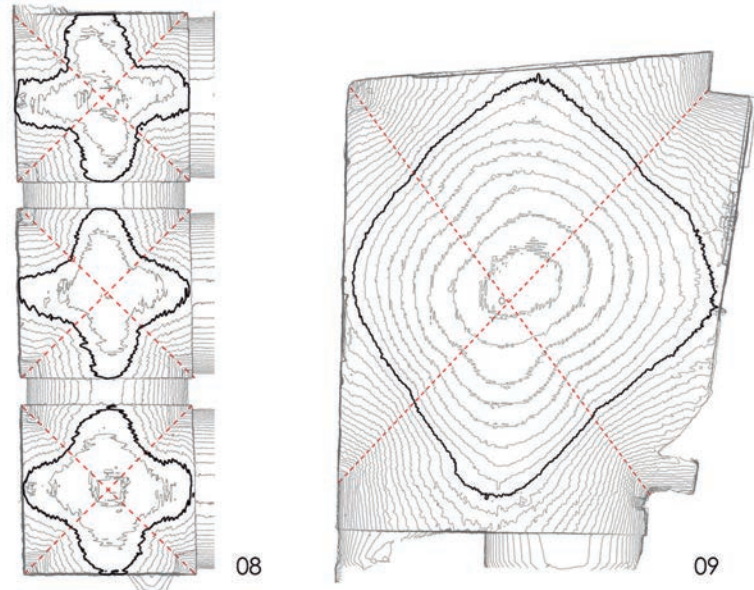
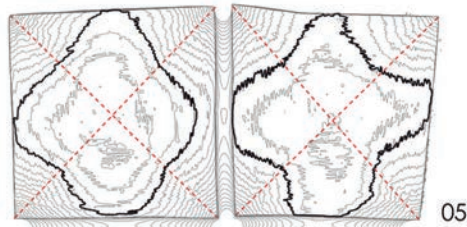
If they were flat vertical slices or truncated cones with a horizontal axis, the apparent courses would have a straight plan projection: none of the vaults present this configuration (Fig. 10). When drawing the section according to the symmetry plane, it is found that in 3 of the 10 buildings courses have an approximately straight profile, which may correspond to inclined flat slices or cones with an inclined axis. The rest have curved and straight courses (Fig. 11).

Circles have been adjusted in the flat courses and their centres have been indicated: had the centres been at the same height, we could have concluded that a work platform and material control instruments of the circular shape like cintrels were used, as stated by Choisy (1883, 53). But only the vaults of Torre de Bujaco show a course inclination order, approximately parallel, and a greater regularity in their centre heights (Fig. 12).

To distinguish between inclined flat courses, Choisy's convex cones, or Paredes' concave cones (Fig. 8, b d and e), among the cases with straight profile courses, two with evident brick bump have been selected to have more data on its arrangement, and the volume of the bricks in the upper area of the vault has been traced, extruding its visible face



6 $b=a:l/2=0$ $b=a:l/2=0,73$ $b=a:l/2=1$



7 08 09



6. De izquierda a derecha, bóveda de arista cilíndrica, bóveda bizantina según el trazado propuesto por Choisy, y bóveda vaída (dibujo de los autores)

7. Líneas de nivel en las bóvedas estudiadas que tienen altura uniforme en el perímetro; se ha resaltado la que pasa por las claves de los arcos exteriores (dibujo de los autores)

6. From left to right, a cylindrical groin vault, a Byzantine vault according to Choisy's layout, and a sail vault (drawing by the authors)

7. Contour lines in the studied vaults featuring uniform height at the perimeter; the one passing through the highest point of the perimetral arches has been highlighted (drawing by the authors)

porque es especialmente patente cuando los arcos perimetrales son de medio punto. Si los arcos son escarzanos se nota menos; es la disposición que aconseja Choisy si se desea evitar la inflexión (1883, 56).

Las secciones principales tienen forma variada, en muchos casos recta en uno o dos tramos o circular, pero en ningún caso elíptica, una de las opciones que indica Paredes (1883, 46). El *retumbo*, o lo que sube la clave central respecto a los arcos perimetrales, es muy irregular, con valores entre 0 y 8,2% respecto a la luz (con un valor medio de 3,7%), pero siempre inferiores al del trazado teórico bizantino de Choisy, que tiene un 10%, y frecuentemente los extremos de una sección tienen diferente cota. López y López sitúan el *retumbo* en las bóvedas extremeñas entre un 3 y un 4% de la luz (2015, 949). Paredes llama *mira al retumbo*, y fija los valores normales entre 1/20 y 1/30 de la luz (5%-3,3%), aunque puede subir a 1/10 (10%) “si los operarios no tienen costumbre de hacer las bóvedas” (Paredes ca. 1883, 109).

El aparejo

Las fuentes escritas que abordan el tema en profundidad (Choisy 1876 y 1883; Paredes ca. 1883) y los casos reales indican que las hojas forman fundamentalmente rebanadas planas, verticales o inclinadas, o troncos de cono de eje horizontal o inclinado, todos con hiladas aparentes según curvas planas (Fig. 8). Además, existen hojas con hiladas aparentes alabeadas, también recogidas en las fuentes escritas (Fig. 9).

Si se tratara de hojas planas verticales o troncos de cono de eje horizontal las hiladas aparentes se verían rectas en planta: ninguna

de las bóvedas analizadas presenta esta configuración (Fig. 10). Al trazar la sección según el plano de simetría, se comprueba que 3 de los 10 edificios presentan hiladas de perfil aproximadamente recto, que pueden corresponder a hojas planas inclinadas o conos de eje inclinado. El resto tienen hiladas curvas y rectas (Fig. 11).

En las hiladas planas se han ajustado círculos y se han señalado sus centros: si se mantuvieran a una misma cota podríamos concluir que se utilizó una plataforma de trabajo e instrumentos de control material de la forma circular como cintreles, tal como refiere Choisy (1883, 53). Pero solamente las bóvedas de la Torre de Bujaco presentan un orden aparente de inclinación de hiladas, aproximadamente paralelas, y una mayor regularidad en las cotas de los centros (Fig. 12).

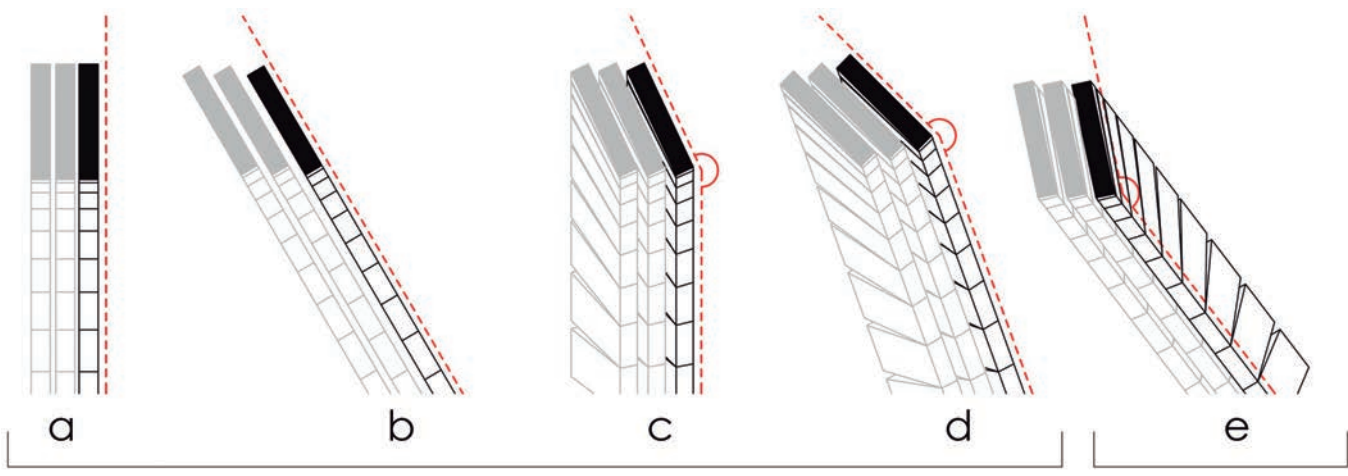
Para distinguir entre hiladas planas inclinadas, conos convexos, como propone Choisy, o conos cóncavos, como indica Paredes (Fig. 8, b d y e), entre los casos con hiladas de perfil recto se han seleccionado dos con el relieve escalonado del ladrillo patente, para tener más datos sobre su disposición, y se ha trazado el volumen de los ladrillos de la zona alta de la bóveda extruyendo recta su cara visible, para comprobar la inclinación en la sección. Un ángulo de 180° con el plano de la hilada correspondería a una hoja plana inclinada; uno mayor de 180° a un cono convexo y uno menor de 180° a un cono cóncavo. Es decir, en los conos cóncavos el ladrillo más alto es más vertical que el plano de la hilada aparente (Fig. 8). En la Ermita de la Paz los conos serían cóncavos y en la Torre de Bujaco habría tanto hiladas planas como conos cóncavos (Fig. 13).

straight, to check their inclination in the section. An angle of 180° with the course plane would correspond to an inclined flat slice; one wider than 180° to a convex cone and one narrower than 180° to a concave cone. That is, in concave cones, the highest brick is more vertical than the plane of the apparent course (Fig. 8). In Ermita de la Paz the cones would be concave and in Torre de Bujaco there would be both flat courses and concave cones (Fig. 13).

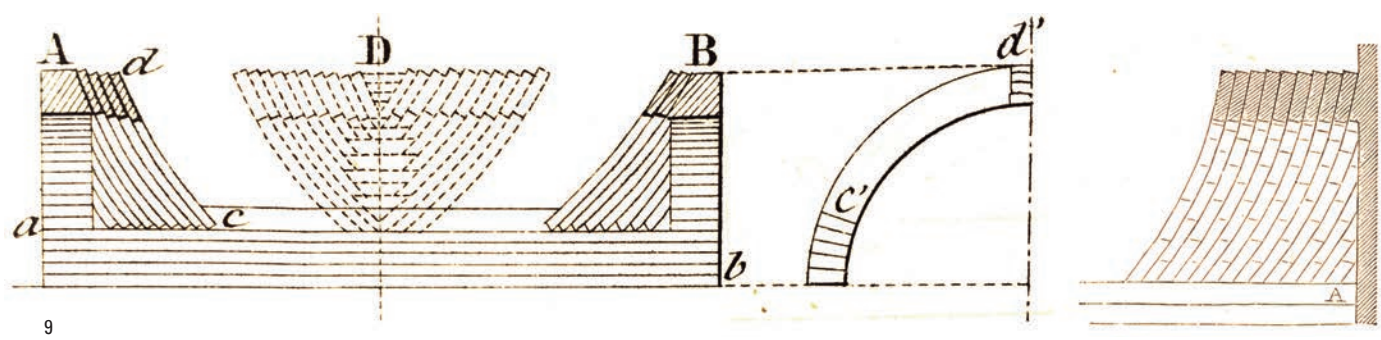
Among the 62 cases whose general form corresponds to that of a groin vault, 44 ones show a particular stepped brick arrangement in the diagonal area, called *pechinas* or *espigas*, present only in vaults from the Southwest of the Iberian Peninsula, not mentioned in primary written sources. López and López consider that they are embedded masonry ribs, used primarily for decorative purposes, although they do indicate that *pechinas* improve the mechanical behavior (2015, 957). In the Tourism Office there are three groin vaults, two with *pechinas* and the smallest one without them; the latter is the only one that shows cracks on diagonal edges (Fig. 14). Moreover, one of the vaults of the restaurant located at Largo Santo Antonio da Sé nº 15 in Lisbon has cracks on the diagonal edges only in the area where there are not *pechinas*.

Courses are often horizontal at the *pechinas* springing, as if it were a *tas-de-charge*. This horizontal configuration avoids the need of cutting bricks at the diagonal edge. Upwards, the bricks of the *pechina* are tilted, thus better receiving the first piece of each slice, and must be cut so as not to interfere with the next one of the adjacent sector (Fig. 15A). Courses often ascend towards the diagonal edge (Fig. 15B).

The two courses of a *pechina* meeting at the diagonal could form a plane, but the survey does not confirm this, and their role in the construction is not clear. Neither do they look straight on the plan projection. However, on an elevation according to the diagonal plane, courses look substantially straight, which could reflect a visual check during construction. On this diagonal elevation, the courses that meet two by two at the diagonal edge do not coincide; each one is set according to its sector (Fig. 16).



8 Choisy Paredes

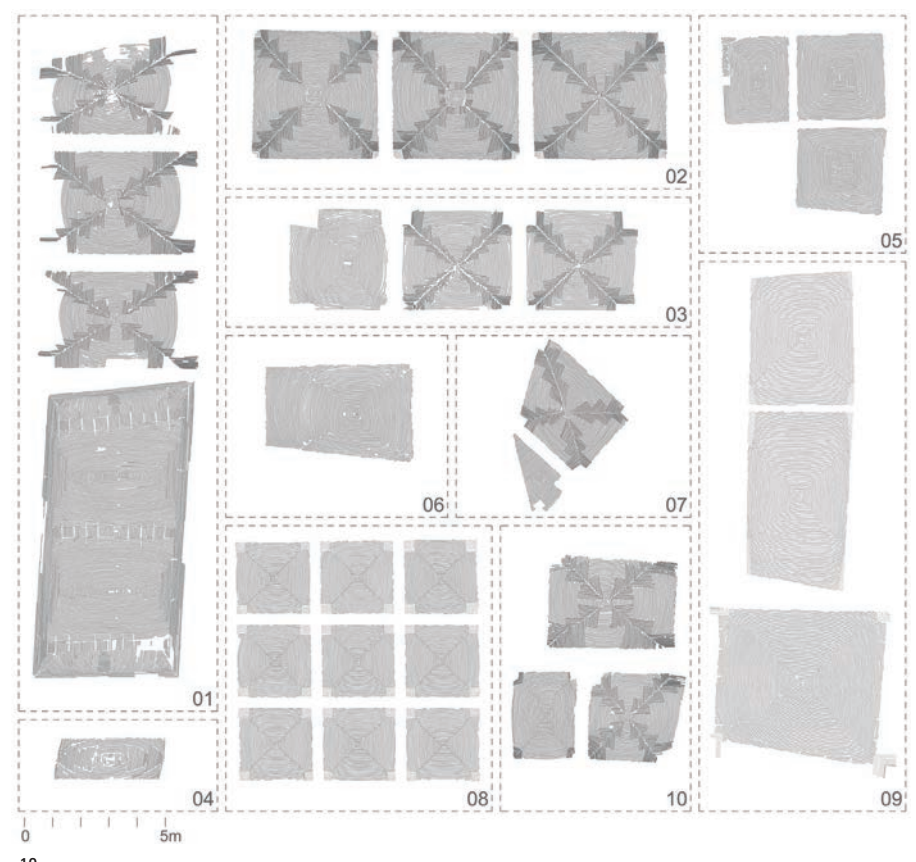


9

Conclusion

Advancing in the line proposed by Choisy when pointing out that the sail vault was a particular case of Byzantine groin vault, this work proposes considering Byzantine and Extremaduran groin vaults as an intermediate case between a cylindrical groin vault and a sail vault, and it has determined that they are more versatile, possible to be built on different plan shapes, with different cross sections and from different perimeter arches and heights.

The abundance of non-aligned diagonal edges implies that no continuous formwork was used; there could have been two light half centerings instead. However, this idea does not fit the determination made of the courses tracing and their centres, which indicates the use of no cintrels. This is the procedure described by Paredes: placement of strings from the arches keystones to the vault centre, with the *retumbo* marked and a plumb line hanging, to control the diagonals execution by means of visual checks (Fig.17). In addition, Paredes points out that the bricklayers must maintain the slices curvature, by visual checking between the slice under



10

8. Rabasa et al. 2020, fig 17

9. Izquierda, Ger y Lóbez 1869, fig. 292; derecha, Choisy 1883, fig. 33.

10. Planta de aparejos (dibujo de los autores).

11. Perfil de las hiladas (dibujo de los autores)

8. Rabasa et al. 2020, fig 17

9. On the left, Ger y Lóbez 1869, fig. 292; on the right, Choisy 1883, fig. 33

10. Plan of brick arrangements (drawing by the authors)

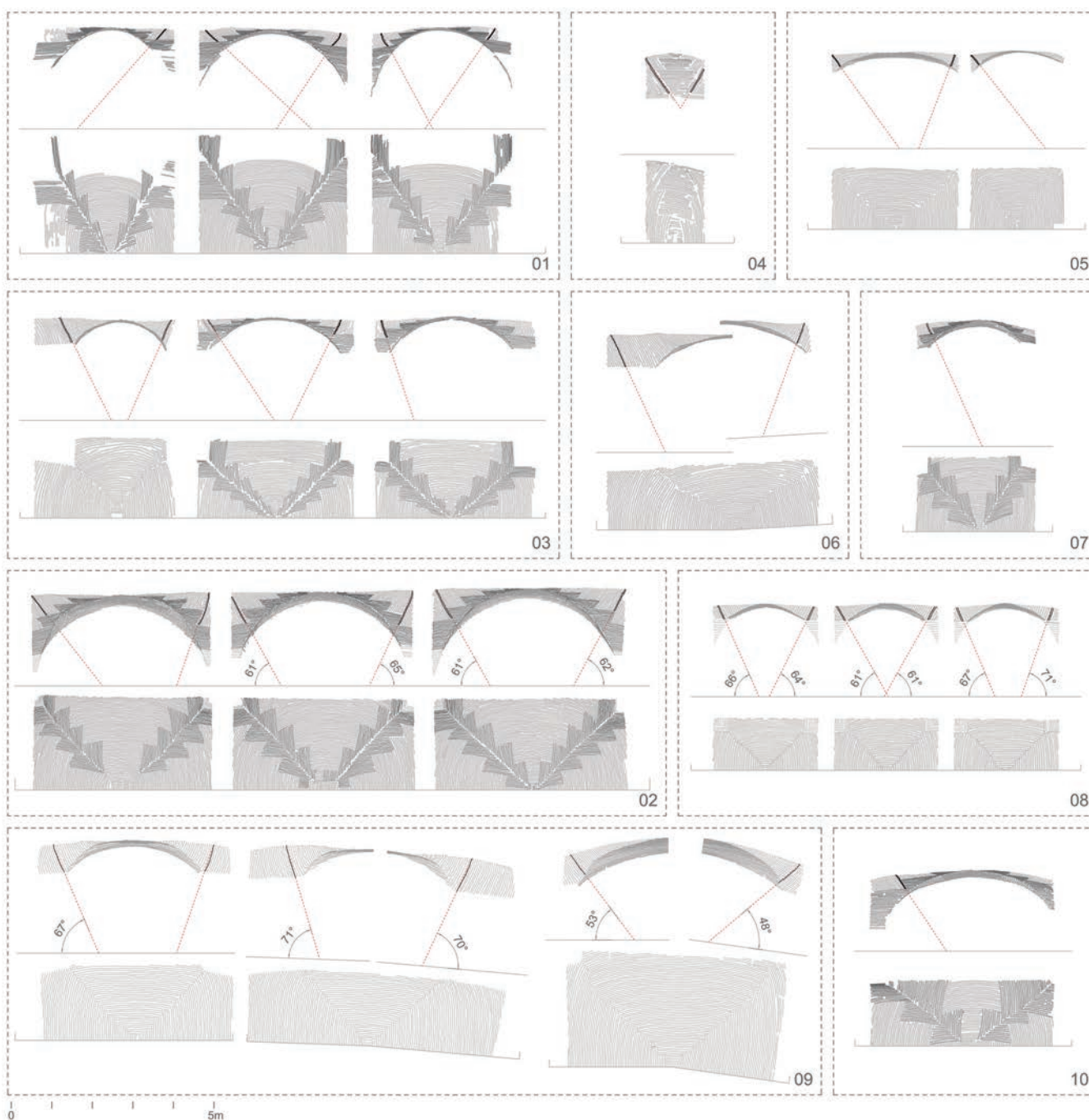
11. Courses profile (drawing by the authors)

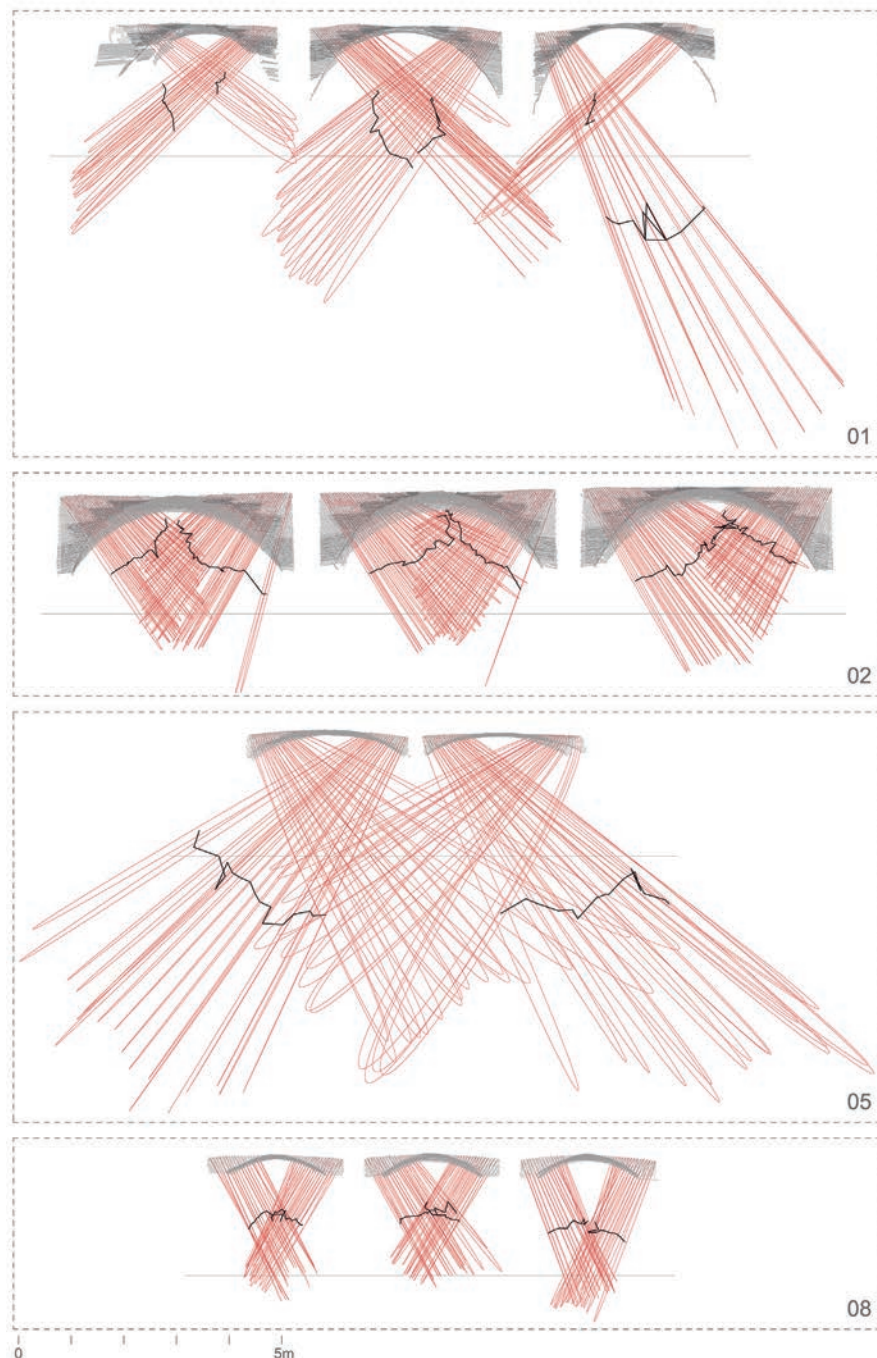
En las 62 bóvedas con forma general de arista, la zona de la diagonal se resuelve en 44 casos con lo que se denomina *pechinas* o *espigas*, un aparejo específico escalonado en la arista, presente solamente en bóvedas del SO de la Península

Ibérica, no recogido en las fuentes primarias escritas. López y López consideran que son nervios embutidos en la fábrica, utilizados primordialmente para quedar vistos, aunque sí indican que mejoran el comportamiento mecánico (2015,

construction and the first one and place each slice key touching the corresponding string (Paredes ca. 1883, 109-110).

Different brick arrangements in the same vault reinforce the idea of scarce instrumental control and dependence on the mason's skill. In the sample studied, the regularity and order of the Torre de Bujaco vaults stand out, in





12

principle the oldest case, which nevertheless presents such an orderly configuration that suggests a later date. *Pechinas* only appear in cases of Extremadura and Alentejo **2**, and the work has made it possible to understand that their use improves the cohesion of the diagonal sectors and facilitates the placement of the first brick of each slice (Fig. 15). Compared to the general theoretical description of the Byzantine system made by Choisy, the analyzed vaults from Cáceres present differences: very irregular plans, frequently non-aligned and non-circular diagonal sections, arches with different

957). En la Concejalía de Turismo del Ayuntamiento de Cáceres hay tres bóvedas de arista, dos con *pechinas* y la más pequeña sin ellas; esta última es la única que presenta grietas en la arista (Fig. 14). Es más, una de las bóvedas del restaurante situado en Largo Santo Antonio da Sé nº 15 en Lisboa presenta grietas en las aristas sólo en la zona que no tiene *pechinas*.

En las *pechinas* las hiladas con frecuencia son horizontales en el

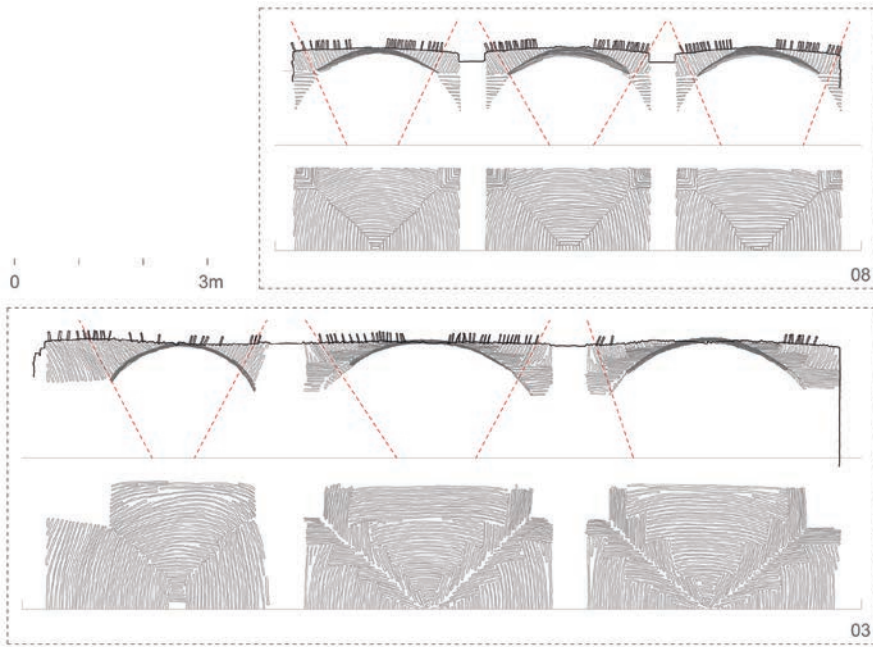
arranque, a modo de enjarje. Tratándose de ladrillo esta configuración horizontal evita cortar piezas en la arista. Después, los ladrillos de la *pechina* se inclinan, recibiendo así mejor la primera pieza de cada hoja y deben ser cortados en la arista para no interferir con el contiguo (Fig. 15A). Con frecuencia las hiladas ascienden hacia la arista (Fig. 15B).

Las dos hiladas de una *pechina* que confluyen en la diagonal podrían formar un plano, pero el levantamiento no lo confirma, y no está claro su papel en la construcción. Tampoco son rectas en planta. Sin embargo, en un alzado según el plano diagonal las hiladas son sensiblemente rectas, lo que podría reflejar una comprobación visual durante la construcción. En este alzado diagonal no coinciden las hiladas que confluyen dos a dos en la arista; cada una va de acuerdo con su sector (Fig. 16).

Conclusiones

Avanzando en la línea que proponía Choisy cuando señalaba que la bóveda vaída era un caso particular de bóveda de arista bizantina, este trabajo propone considerar las bóvedas de arista bizantina y extremeña casos intermedios entre arista cilíndrica y vaída, y ha determinado que son más versátiles, con más opciones de forma de planta, sección, arcos perimetrales o alturas.

La abundancia de aristas diagonales quebradas implica que no usaban una cimbra continua; podrían ser dos medias cimbras ligeras, pero la idea no encaja con la determinación realizada de la traza de las hiladas y sus centros, que indica ausencia de control con cin-



13

- 12. Círculos ajustados a las hiladas aparentes y cota de sus centros (dibujo de los autores)
- 13. Inclinción de los ladrillos en la clave (dibujo de los autores)
- 14. Concejalía de Turismo del Ayuntamiento de Cáceres (fotografía de los autores, 2022)
- 15. A, izquierda, construcción de una pechina en el Castillo de la Higuera de Vargas en Badajoz (Pizarro y Sánchez 2004, 86); B, derecha, pechina en la Casa de las Veletas (fotografía de los autores, 2022)
- 16. Alzados diagonales de las pechinas (dibujo de los autores)

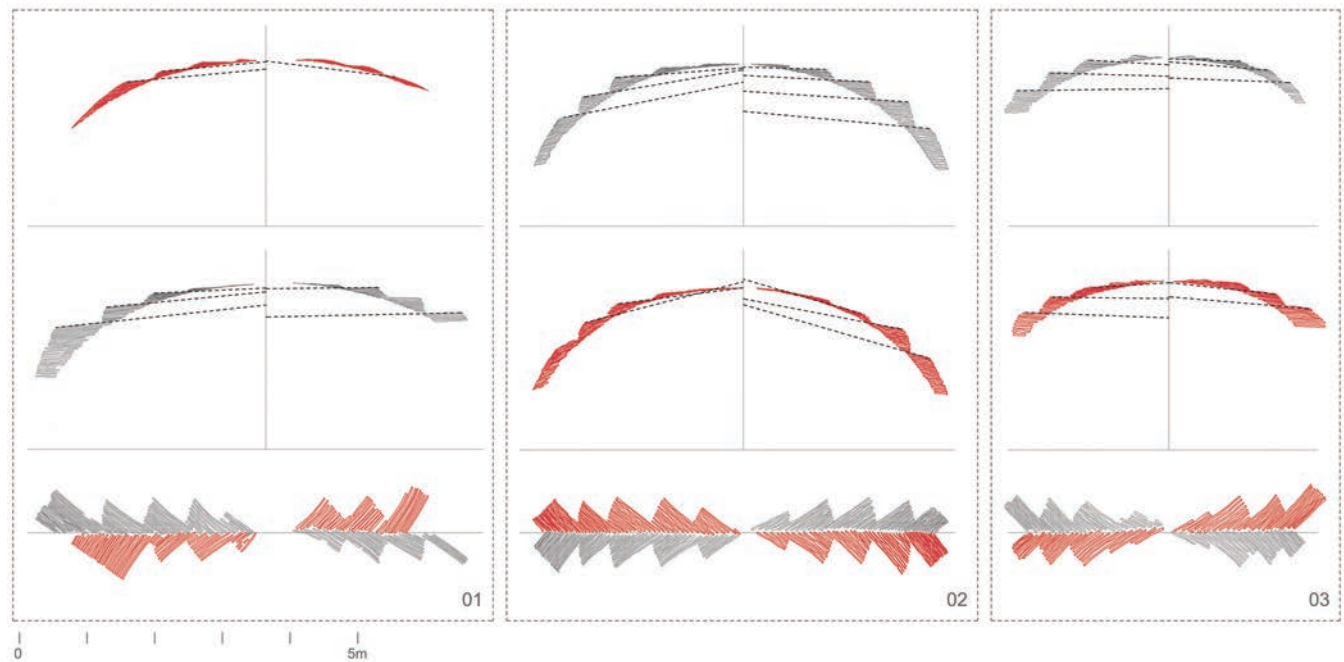
- 12. Circles adjusted to the apparent courses and location of their centres (drawing by the authors)
- 13. Inclinción of the bricks in the higher part of the vaults (drawing by the authors)
- 14. Cáceres City Council Tourism Office (photograph by the authors, 2022)
- 15. A, on the left, construction of a pechina at the Castillo de la Higuera de Vargas in Badajoz (Pizarro and Sánchez 2004, 86); B, on the right, pechina in the Casa de las Veletas (photograph by the authors, 2022)
- 16. Diagonal elevations of the pechinas (drawing by the authors)



14



15



16

heights and, fundamentally, a specific spike shaped brick arrangement at the diagonals. In addition, the use of physical tools for layout control proposed by Choisy does not seem probable.

Regarding the analysis methodology, the drawing of lines on the digital model and the use of views that reveal formal or constructive configurations have been key. Likewise, the use of the contour line at the height of the perimeter arches has been useful to distinguish variations in the general form. ■

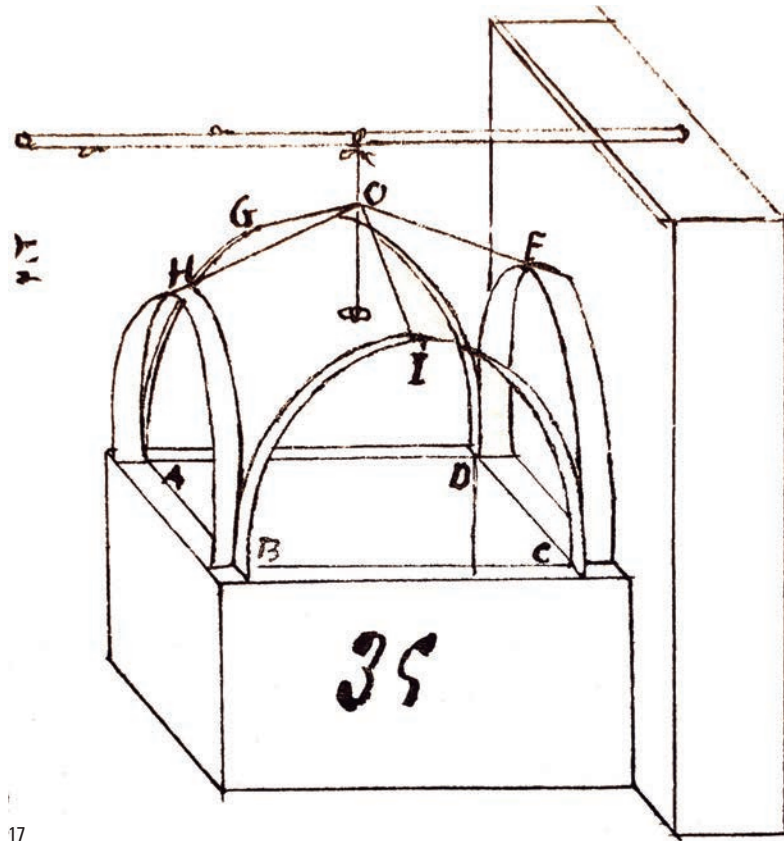
Notes

1/ This paper is part of the research project "The construction of brick vaults by slices. Historical uses and current possibilities" PID2020-116191GB-I00, funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033/. The authors also wish to express their gratitude the Cáceres City Council Tourism Office and those in charge of the buildings under study for granting access and facilitating the field work.

2/ The general inventory of cases that is being carried out within the framework of the mentioned research project is available at <http://vaults.aq.upm.es/>

References

- CHOISY, A., 1876. Note sur la construction des voûtes sans cintrage pendant la période byzantine. *Annales des Ponts et Chaussées*. 5 série, 2E sem. 12, 439-449, Pl. 21.
- CHOISY, A., 1883. *L'Art de bâtir chez les Byzantins*. Paris: Librairie de la Société Anonyme de Publications Périodiques.
- CHOISY, A., 1899. *Histoire de l'Architecture*. Paris: Gauthier-Villars.
- CORRALES GAITÁN, A., 1998. *Ermidas cacerenses*. Cáceres: Servicio de Publicaciones de la Cámara Oficial de Comercio e Industria de Cáceres. <https://es.calameo.com/read/004677820e96aca9a788c>
- FORTEA LUNA, M. and LÓPEZ BERNAL, V., 2012. *Bóvedas extremeñas. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista*. Badajoz: Kantrila S.L. Empresa Constructora.
- GARCÍA DUQUE, I., 1976. Arquitectura civil gótica y renacentista en Cáceres. *Revista de estudios extremeños*, Vol. 32, nº 2, 313-368.
- GER Y LÓPEZ, F., 1869. *Manual de construcción civil*. Badajoz: Imprenta de Don José Santamaría.
- LÓPEZ-MOZO, A., ALONSO-RODRÍGUEZ, M.A., MARTÍN-TALAVERANO, R. and ALIBERTI, L., 2021. Brick vaults by slices in Toledo. *History of Construction Cultures*, Volume 2, 674-681. Londres: Taylor and Francis Group. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9781003173434-200/brick-vaults-slices-toledo-1%C3%B3pez-mozo-alonso-rodr%C3%ADguez-mart%C3%ADn-talaverano-aliberti?context=ubx&refId=bb9345a5-351a-42be-9c38-2a81ce81f4d9>
- LÓPEZ-MOZO, A., RABASA-DÍAZ, E., CALVO-LÓPEZ, J., ALONSO-RODRÍGUEZ, M.A. and SANJURJO-



17

trél. Así es el procedimiento descrito por Paredes: colocación de cuerdas desde las claves de los arcos al centro de la bóveda, con el *returnbo* marcado y una plomada colgando, para controlar la ejecución de las diagonales mediante visuales (Fig.17). Además, Paredes señala que los operarios deben mantener la curvatura de las rosas, desalabeando por visuales entre la rosca en construcción y la primera, y situar la clave de cada rosca tocando a la cuerda correspondiente (Paredes ca. 1883, 109-110).

Aparejos diferentes en una misma bóveda refuerzan la idea de escaso control instrumental y dependencia de la habilidad del albañil. En la muestra estudiada destaca la regularidad y el orden de las bóvedas de la Torre de Bujaco, en principio el caso más antiguo, que presenta sin embargo una configuración tan ordenada que hace pensar en una datación posterior. Las *pechinás* sólo aparecen en casos de Extremadura y el Alentejo 2, y el

trabajo ha permitido entender que su empleo mejora la cohesión de los sectores en la diagonal y facilita la colocación del primer ladrillo de cada hoja (Fig. 15).

Frente a la descripción teórica general del sistema bizantino según Choisy, las bóvedas caceresas analizadas presentan diferencias: plantas muy irregulares, secciones diagonales frecuentemente quebradas y no circulares, claves a diferente altura y, fundamentalmente, aparejos específicos en forma de espigas en las diagonales. Además, no parece probable el uso de los instrumentos materiales de control del trazado que Choisy proponía.

En la metodología de análisis ha resultado clave el dibujo de líneas sobre el modelo digital y el uso de vistas que hacen patentes configuraciones formales o constructivas. Asimismo, el uso de la línea de nivel a la altura de las claves perimetrales ha sido fructífero para distinguir variaciones en la forma general. ■



Notas

- 1 / Este trabajo es parte del proyecto de investigación “La construcción de bóvedas de ladrillo por hojas. Usos históricos y posibilidades actuales” PID2020-116191GB-I00, financiado por MCIN/AEI / 10.13039/501100011033/. Los autores desean expresar su agradecimiento a la Oficina de Turismo del ayuntamiento de Cáceres y a los responsables de los edificios objeto de estudio por facilitar el acceso para llevar a cabo la toma de datos.
- 2 / El inventario general de casos que se está llevando a cabo en el marco del proyecto de investigación está disponible en <http://vaults.aq.upm.es/>

Referencias

- CHOISY, A., 1876. Note sur la construction des voûtes sans cintre pendant la période byzantine. *Annales des Ponts et Chaussées*. 5 série, 2E sem. 12, pp. 439-449, Pl. 21.
- CHOISY, A., 1883. *L'Art de bâtir chez les Byzantins*. Paris: Librairie de la Société Anonyme de Publications Périodiques.
- CHOISY, A., 1899. *Histoire de l'Architecture*. Paris: Gauthier-Villars.
- CORRALES GAITÁN, A., 1998. *Ermidas cacerenses*. Cáceres: Servicio de Publicaciones de la Cámara Oficial de Comercio e Industria de Cáceres. <https://es.calameo.com/read/004677820e96aca9a788c>
- FORTEA LUNA, M. y LÓPEZ BERNAL, V., 2012. *Bóvedas extremeñas. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista*. Badajoz: Kantrila S.L. Empresa Constructora.
- GARCÍA DUQUE, I., 1976. Arquitectura civil gótica y renacentista en Cáceres. *Revista de estudios extremeños*, Vol. 32, nº 2, pp. 313-368.
- GER Y LÓPEZ, F., 1869. *Manual de construcción civil*. Badajoz: Imprenta de Don José Santamaría.
- LÓPEZ-MOZO, A., ALONSO-RODRÍGUEZ, M.A., MARTÍN-TALAVERANO, R. y ALIBERTI, L., 2021. Brick vaults by slices in Toledo. *History of Construction Cultures*, Volume 2, pp. 674-681. Londres: Taylor and Francis Group. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9781003173434-2001/brick-vaults-slices-toledo-1%C3%B3pez-mozo-alonso-rodr%C3%ADguez-mart%C3%ADn-talaverano-aliberti?context=ubx&refId=bb9345a5-351a-42be-9c38-2a81ce81f4d9>
- LÓPEZ-MOZO, A., RABASA-DÍAZ, E., CALVO-LÓPEZ, J., ALONSO-RODRÍGUEZ, M.A. y SANJURJO-ÁLVAREZ, A., 2022. Geometry and Actual Construction in Brick Vaults by Slices: The Case of Carranque in Spain. *Nexus Network Journal* 24, 641–655. <https://doi.org/10.1007/s00004-022-00601-3>
- LÓPEZ ROMERO, M. y LÓPEZ BERNAL, V., 2015. Las aristas en “espiga” de las bóvedas sin cimbra de Extremadura. *Actas del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*, Vol. 2, pp. 949-957. Madrid: Instituto Juan de Herrera. http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/91-L___pez%20Romero.pdf
- LOZANO BARTOLOZZI, M., 1980. *El desarrollo urbanístico de Cáceres (siglos XVI-XIX)*. Cáceres: Universidad de Extremadura.
- LOZANO BARTOLOZZI, M., 2004. El Palacio de Mayoralgo. Memoria Urbana de una Ciudad. *El Palacio de Mayoralgo. Sede Institucional de la Caja de Extremadura*, pp. 35-94. Cáceres: Caja de Extremadura.
- MÁRQUEZ BUENO, S. y GURRIARÁN DAZA, P., 2003. La muralla almohade de Cáceres: aspectos constructivos, formales y funcionales. *Arqueología y Territorio Medieval*, 10(1), pp. 57–118. <https://doi.org/10.17561/aytm.v10i1.1564>
- MAYORALGO Y LODO, J.M., 2004. El Palacio de Mayoralgo. Historia de una Casa Noble Cacerense. *El Palacio de Mayoralgo. Sede Institucional de la Caja de Extremadura*, pp. 95-129. Cáceres: Caja de Extremadura.
- NATIVIDAD-VIVÓ, P., GARCÍA-BAÑO, R., SALCEDO-GALERA M. y CALVO-LÓPEZ, J., 2021. The brick vaults of the Alfonsina Tower in Lorca Castle. Geometric aspects and possible sources. *History of Construction Cultures*, Volume 2, pp. 607-614. Londres: Taylor and Francis Group. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9781003173434-191/brick-vaults-alfonsina-tower-lorca-castle-geometric-aspects-possible-sources-natividad-viv%C3%B3-garc%C3%ADba%C3%B1o-salcedo-galera-calvo-1%C3%B3pez>
- PAREDES GUILLÉN, V., ca. 1883. *Construcción sin cimbra de las bóvedas de ladrillo con toda clase de morteros*. Manuscrito en el Archivo Histórico Provincial de Cáceres, legado Paredes.
- PIZARRO GÓMEZ, F. J. y SÁNCHEZ LEAL, J., 2004. El Tratado de bóvedas de Vicente Paredes Guillén. *Tratado de bóvedas sin cimbra de Vicente Paredes Guillén*, pp. 65-106. Badajoz: Junta de Extremadura.
- RABASA DÍAZ, E., LÓPEZ-MOZO, A. y ALONSO-RODRÍGUEZ, M.Á., 2020. Brick Vaults by Slices in Choisy and Paredes. *Nexus Network Journal* 22, pp. 811–830. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00504-1>
- RAMOS RUBIO, J.A. y GÓMEZ FERREIRA, R., 2021. La Casa de los Becerra en Cáceres. Proceso de rehabilitación para la sede de la Fundación Mercedes Calle y Carlos Ballesterero. *Tabularium Edit* vol. 1 nº 8, pp. 65-93. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8230385>
- ÁLVAREZ, A., 2022. Geometry and Actual Construction in Brick Vaults by Slices: The Case of Carranque in Spain. *Nexus Network Journal* 24, 641–655. <https://doi.org/10.1007/s00004-022-00601-3>
- LÓPEZ ROMERO, M. and LÓPEZ BERNAL, V., 2015. Las aristas en “espiga” de las bóvedas sin cimbra de Extremadura. *Actas del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*, Vol. 2, 949-957. Madrid: Instituto Juan de Herrera. http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/91-L___pez%20Romero.pdf
- LOZANO BARTOLOZZI, M., 1980. *El desarrollo urbanístico de Cáceres (siglos XVI-XIX)*. Cáceres: Universidad de Extremadura.
- LOZANO BARTOLOZZI, M., 2004. El Palacio de Mayoralgo. Memoria Urbana de una Ciudad. *El Palacio de Mayoralgo. Sede Institucional de la Caja de Extremadura*, 35-94. Cáceres: Caja de Extremadura.
- MÁRQUEZ BUENO, S. and GURRIARÁN DAZA, P., 2003. La muralla almohade de Cáceres: aspectos constructivos, formales y funcionales. *Arqueología y Territorio Medieval*, 10(1), 57–118. <https://doi.org/10.17561/aytm.v10i1.1564>
- MAYORALGO Y LODO, J.M., 2004. El Palacio de Mayoralgo. Historia de una Casa Noble Cacerense. *El Palacio de Mayoralgo. Sede Institucional de la Caja de Extremadura*, 95-129. Cáceres: Caja de Extremadura.
- NATIVIDAD-VIVÓ, P., GARCÍA-BAÑO, R., SALCEDO-GALERA M. and CALVO-LÓPEZ, J., 2021. The brick vaults of the Alfonsina Tower in Lorca Castle. Geometric aspects and possible sources. *History of Construction Cultures*, Volume 2, 607-614. Londres: Taylor and Francis Group. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/oa-edit/10.1201/9781003173434-191/brick-vaults-alfonsina-tower-lorca-castle-geometric-aspects-possible-sources-natividad-viv%C3%B3-garc%C3%ADba%C3%B1o-salcedo-galera-calvo-1%C3%B3pez>
- PAREDES GUILLÉN, V., ca. 1883. *Construcción sin cimbra de las bóvedas de ladrillo con toda clase de morteros*. Manuscrito at the Archivo Histórico Provincial de Cáceres, legado Paredes.
- PIZARRO GÓMEZ, F. J. and SÁNCHEZ LEAL, J., 2004. El Tratado de bóvedas de Vicente Paredes Guillén. *Tratado de bóvedas sin cimbra de Vicente Paredes Guillén*, 65-106. Badajoz: Junta de Extremadura.
- RABASA DÍAZ, E., LÓPEZ-MOZO, A. and ALONSO-RODRÍGUEZ, M.Á., 2020. Brick Vaults by Slices in Choisy and Paredes. *Nexus Network Journal* 22, 811–830. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00504-1>
- RAMOS RUBIO, J.A. and GÓMEZ FERREIRA, R., 2021. La Casa de los Becerra en Cáceres. Proceso de rehabilitación para la sede de la Fundación Mercedes Calle y Carlos Ballesterero. *Tabularium Edit* vol. 1 nº 8, 65-93. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8230385>