

Las aristas en «espiga» de las bóvedas sin cimbra de Extremadura

María López Romero
Vicente López Bernal

La construcción de elementos abovedados sin cimbra o con una cantidad mínima de este medio auxiliar, permite el desarrollo de obras arquitectónicas de importante magnitud con una máxima economía de medios, utilizando a lo largo de la historia, un principio como es el de «hacer más con menos» recursos. Esta solución requiere como acompañante imprescindible, la habilidad y el genio de los responsables de la ejecución, y en general la práctica está más vinculada a la técnica combinada de ladrillo y mortero que a la cantería, aun cuando entre ambas puedan establecerse analogías o incluso en algunos casos convergencias. El proceso casi mágico de colocar dovelas «en el aire» requiere un entendimiento preciso de la mecánica de fábrica que no solo deberá ser estable y segura una vez cerrada, sino que deberá mantener esas mismas condiciones a lo largo del proceso de puesta en obra. Esa habilidad extraordinaria que denotan los maestros en el uso del material les permitirá alcanzar cotas de refinamiento y exuberancia, como en este caso de aristas en espiga, (figura 1) con las que el albañil es capaz de integrar la plástica del aparejo resultante, con un proceso estable de puesta en obra y un funcionamiento mecánico impecable de la fábrica una vez cerrada.

PROCESO CONSTRUCTIVO

Con carácter general, la ejecución de bóvedas sin cimbra se encuentra muy extendida en el suroeste de la

península ibérica, y encontramos numerosos ejemplos desde el sur de la provincia de Salamanca, provincia de Cáceres, mitad norte de la provincia de Badajoz y la zona Oeste del Alentejo portugués. La solución más abundante corresponde a la bóvedas de arista, aun cuando sean numerosos los ejemplos de soluciones en medio cañón, vaídas o de artesón. Esta solución de aristas permite arrancar en sus cuatro esquinas mediante hiladas de ladrillo macizo, aproximadamente horizontales, empotradas en el muro, que voladas de forma sucesiva dan forma al arranque de las aristas y conforman el lecho necesario para el apoyo de las hiladas que, con diversas configuraciones, constituirán la superficie de la bóveda (figura 2).

El trazado de la bóveda se realiza a partir de elipses dibujadas en los cuatro muros perimetrales con el sencillo procedimiento de un cordel anclado en los focos. A partir de los puntos de la clave de estas cuatro elipses, mediante dos cuerdas cuyo punto de cruce se eleva, con el auxilio de una regla, en una magnitud denominada como retumbo, arpejo, resubido o mira, equivalente a un tres o cuatro por ciento de la luz de crujía, situándose así el punto de cierre de la bóveda. La habilidad del maestro le permite colocar los ladrillos guiándose por el trazado de los paramentos, las cuerdas de clave y la plomada situada en el punto de cierre, para asegurar el correcto desarrollo de las aristas.

La singularidad del modelo que aquí presentamos consiste en que ese arranque, conocido en el lenguaje de los alarifes como «pechina» se repetirá a lo largo de



Figura 1
Antigua hospital de Santa María en Plasencia (López Romero 2015)

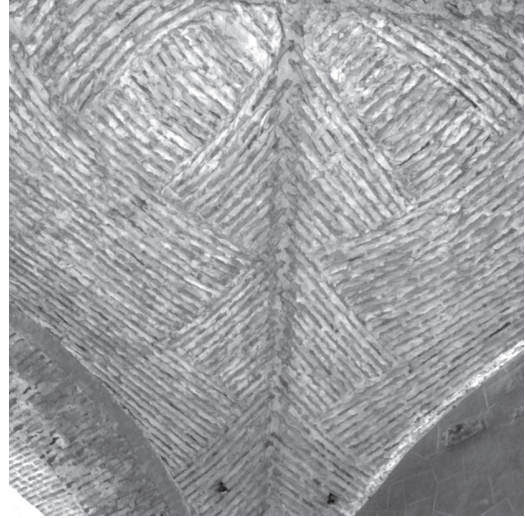


Figura 3
Puerta de Coria en Cáceres (López Bernal 2015)

las aristas hasta alcanzar la clave (figura 3). Estos elementos se configuran como una sucesión de figuras acunadas sobre las que descargan las hiladas troncocónicas que conforman el resto del plemento. Durante la fase de construcción la estabilidad de los distintos ladri-

llos que se van colocando se asegura mediante las tres propiedades que define Paredes Guillén en su tratado: adherencia aportada por el mortero, rozamiento de los ladrillos por su inclinación menor de 45° y el «dovellaje» conseguido una vez que se completa la hilada.

La diferencia respecto a la solución en arista continua es que en esta, las hiladas se van desarrollando de manera concéntrica desde el final de las pechinas de arranque hasta la clave, confiando el funcionamiento final a la continuidad del conjunto. En el caso de la espiga estos elementos se configuran como «nervios» embutidos en el espesor de la fábrica formados por adición de sucesivas «pechinas» de hiladas transversales a la plementería (figura 4).

La ejecución de las pechinas en la parte más alta de la bóveda exige un mayor cuidado en la puesta en obra para mantener el equilibrio del elemento. En este caso resulta conveniente, antes de que estas tengan finalizadas las puntas salientes, la ejecución de un par de hiladas troncocónicas que ayuden a arristrar las cuatro piezas en ejecución.



Figura 2
Pechina en construcción (Sánchez Silva 2001)

EQUILIBRIO DEL CONJUNTO.

Durante el proceso constructivo la estabilidad parcial de la fábrica, cuyas acciones derivan únicamente de



Figura 4
Aradarve de Santa María en Cáceres (López Bernal 2015)

su peso propio, queda asegurado en la sucesión de pechinas e hiladas troncocónicas, cuyo cierre de hiladas va generando una sucesión de arcos comprimidos que permiten llegar a la clave desde el propio andamio de trabajo. Podríamos simplificar el modelo de estabilidad en ese proceso, a cuatro bielas comprimidas coincidiendo con las aristas que parten de los cuatro puntos más bajos de la bóveda y quedan unidas en su punto más alto por otras cuatro bielas que coinciden con las últimas hiladas concéntricas que van cerrando la plementería.

Ahora bien, una vez cerrado el conjunto y sometida la bóvedas a las cargas derivadas del trasdosado y las sobrecargas, que pueden ser de considerable magnitud, encontramos que la bóveda así aparejada se convierte en el antifunicular de las cargas: una serie de arcos menores (las hiladas troncocónicas) descargan sobre dos nervios diagonales (las espigas) configurando así una sorprendente identidad entre el aparejo de la fábrica y una hipotética serie de líneas de empuje capaces de determinar la estabilidad del conjunto, cuyo único límite viene fijado por la resistencia al vuelco de los muros en los que apoya.

Se ha estudiado un caso concreto de bóveda cuyo esquema constructivo se representa en planta (figuras 5 y 6) con unas dimensiones aproximadas de 5x5 metros. La flecha de los arcos elípticos de encuentro

con los paramentos es de 1,05 y el peraltado de la clave central respecto a los puntos más altos de dichas elipses es de 22 cm. El ladrillo empleado tiene unas dimensiones aproximadas de 31x14x3 cm. La configuración de las aristas se realiza mediante seis puntas de flecha que alcanzan hasta el cierre de la bóveda (figura 7). La comprobación de la estabilidad del conjunto se ha realizado mediante estática gráfica, asignado en primer lugar un conjunto de secciones de directriz elíptica paralelas a los muros perimetrales, con una anchura equivalente a dos hiladas de ladrillo más mortero y un espesor igual a la dimensión menor del ladrillo, cuyas líneas de empujes descargan sobre los dos arcos diagonales. A su vez estos arcos diagonales se han comprobado con la resultante de los empujes anteriores y las acciones correspondientes a una sección hipotética de anchura variable desde los 20 cm en la clave hasta los 50 cm en el apoyo y un espesor equivalente a la dimensión menor del ladrillo. En estas condiciones, despreciando el empuje que puede transmitir la plementería a los paramentos laterales, la bóveda trasdosada y con una sobrecarga de 3 kN/m², soporta una tensión en la fábrica a la altura las pechinas que no llega a superar los 220 N/cm². Respecto a la situación de la línea de empujes, esta se encuentra siempre dentro del núcleo

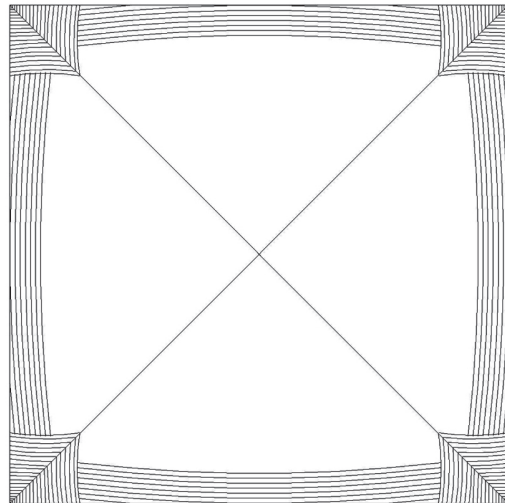


Figura 5
Proyección del arranque de bóveda de arista ejecutada sin cimbra. (López Bernal 2015)

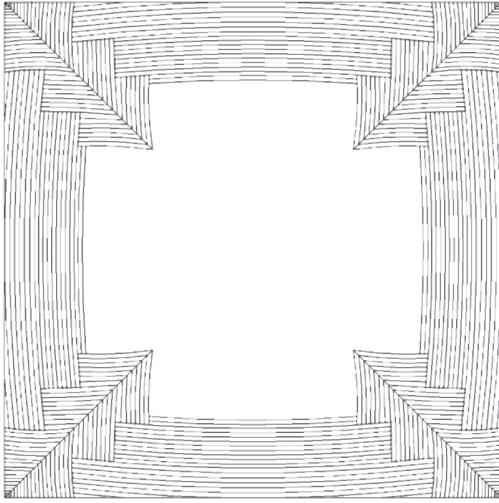


Figura 6
Proyección en fase intermedia de bóveda en espiga ejecutada sin cimbra. (López Bernal 2015)

central de la hoja, salvo en lo que se refiere a la pechina de arranque, que como ya se ha indicado, se realiza continua en toda su altura hasta el encuentro



Figura 7
Espacio comercial en la Calle Pintores de Cáceres (López Bernal 2015)

con los paramentos verticales, en los que se empotra permitiendo así que la teórica línea de empujes pase por esa robusta fábrica de ladrillo.

APROXIMACIONES AL MODELO DE ESPIGA EN LOS TRATADOS

La solución constructiva descrita no aparece en los tratados que hacen referencia a la construcción sin cimbra, sin embargo, una observación detallada de los mismos, nos permite extraer algunas relaciones no casuales entre los métodos descritos y esta depurada puesta en obra de la bóveda de ladrillo sin cimbra.

El primer tratado al que haremos referencia será el *Libro de Traças de cortes de Piedras* en el que podemos apreciar en el caso de «capilla por yladas cuadradas» la similitud con el aparejo de hiladas concéntricas de nuestra bóveda de ladrillo (figura 8). En este caso las dovelas de los rincones configuran una espiga de similar matriz aunque en sentido contrario, dado que la solución en piedra resuelve hiladas concéntricas que deberán sustentarse, al menos, hasta el cierre de cada una de ellas y en caso del ladrillo, se trata de hacer viable la ejecución del elemento sobre

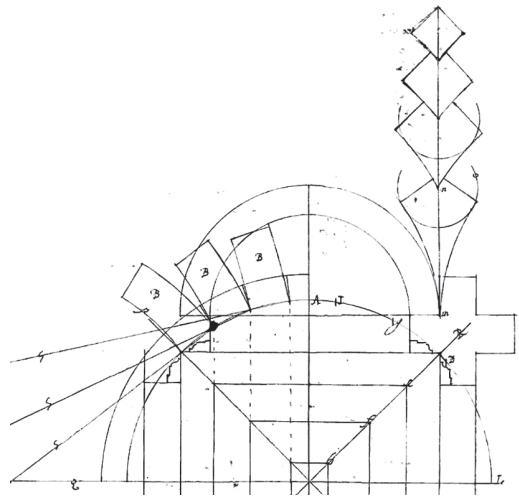


Figura 8
Página del manuscrito de Alonso de Vandelvira título 98, capilla cuadrada por yladas cuadradas

el precedente, sin necesidad de la cimbra como sistema auxiliar.

La interesante descripción que se hace del trazado geométrico de las dovelas que habrán de conformar los rincones de encuentro de las hiladas concéntricas, pone de manifiesto la precisión necesaria para conseguir la formación de la bóveda con esta solución:

Resta, ahora, digamos de la manera que se sacan las plantas de los rincones. Para lo qual, as de ber en qué altura se alian por su cercha, que ba de rincón a rincón, qu'es el medio círculo A, y, así, allará's qu'el rincón f se alla en el punto g, y el rincón h se alla en el punto I, y el rincón L se alla en el punto m y el rincón n se alla en el punto o. Sabidas las alturas de los rincones por su cercha A, sacarás las plantas d'esta manera: qu'en una línea a plomo echarás la altura de lo que sube el primer rincón, qu'es lo que ay de la R a la g; echallo as de la S a la t en la línea a plomo. Luego, desde el punto t echarás a la mano derecha una cercha con el altura de una dovela de la parte mayor, qu'es la cercha r, y a est'otra parte echarás desde el dicho punto t una cercha con la altura de una dovela del arco menor, como parece la cercha V. Y desde el punto S echarás la cercha x que toque a la cercha r y desde este punto abrirás el compás y echarás la cercha que naçe del punto t açia arriba y la junta cortarás al punto donde salieron estas cerchas de los lechos. Y a est'otra parte echarás desde el punto S, echarás la cercha, que toque a la cercha V, y desde el dicho punto echarás la cercha que naçe del punto t y cortarás la junta al punto donde salieron estas dos cerchas de los lechos. Y así queda sacada la planta de la primera piedra del rincón. Y por la orden d'èsta sacarás las demás. Y, traçados los rincones, cunplirás las yladas con las plantas que parecen en la traça, cada una para su ylada, como ellas mismas demuestran (Vandelvira S XVII, 97).

Contrastan este nivel de detalle y conocimiento de la geometría descriptiva, desplegados en la estereotomía de las dovelas, con la sencillez de medios utilizados en la construcción de las bóvedas de ladrillo. En nuestro caso, la geometría se limita al trazado de la elipse con dos clavos y un cordel a partir de los dos focos obtenidos a partir del eje mayor de la misma. Desde aquí todo el proceso se controla mediante el buen ojo del maestro para seguir la curvatura de las cuatro elipses trazadas en los paramentos o arcos de arranque y la referencia de la plomada central, para asegurar que las dos aristas diagonales no se salen del plano vertical que las contiene.

Será Vicente Paredes en su *Tratado de Bóvedas sin cimbra* quien, por primera vez desde una visión local

pero con un gran conocimiento de la realidad y la metodología ampliamente difundida, tratará de poner en valor estos depurados procedimientos constructivos sistematizando su razón de ser constructiva y describiendo la geometría resultante de esos métodos (figura 9). Su condición de arquitecto con buen conocimiento de la estática gráfica le permitirá contrastar la idoneidad de las soluciones, aplicándolas en obras concretas por él realizadas, como en el caso de las iglesias de Santa María y San Juan en Don Benito (Badajoz). Lamentablemente este tratado nunca llegó a publicarse y los conocimientos empíricos de albañiles y maestros siguieron transmitiéndose mediante la práctica continuada del oficio. A pesar de todo debemos reconocer las interesantes aportaciones del Arquitecto, fundamentalmente en lo que se refiere a la justificación física de la bondad del proceso y a la definición geométrica de las superficies generadas durante la puesta en obra, (figura 10) imprescindible para la estabilidad de las piezas con anterioridad al fraguado del mortero. Resulta interesante la descripción del trazado por cuanto muestra la sencillez de los medios necesarios y el eficaz control del proceso que estos permiten:

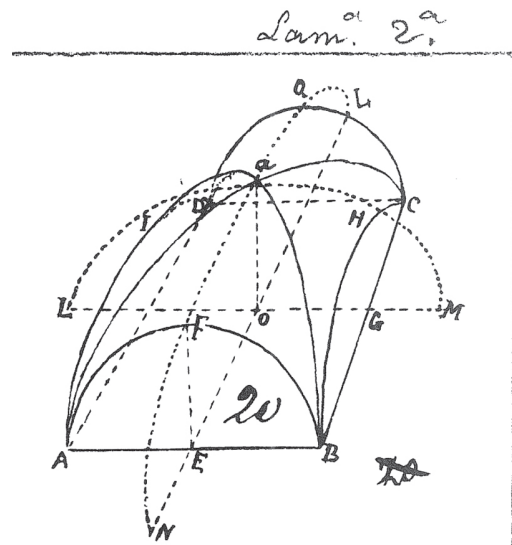


Figura 9 Descripción de la geometría de la bóveda de aristas distinguíendola de la intersección de dos cañones (Paredes [1883] 2004, f 20)

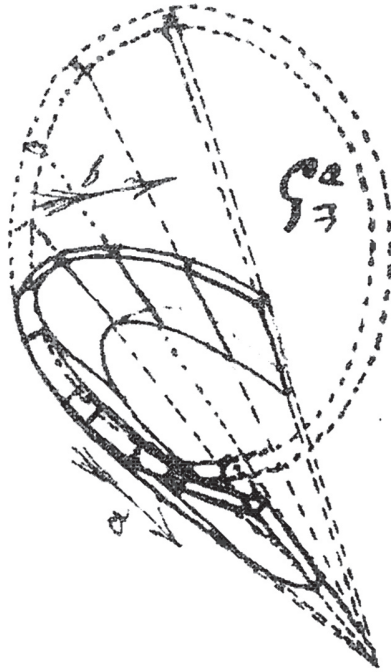


Figura 10
Hoja troncocónica en la que la fuerza del dovelaje mantiene la estabilidad (Paredes [1883] 2004, f 5)

Para proceder a la construcción, si suponemos que es un espacio cuadrado ABCD, fa 35, (figura 11) cerrado por cuatro muros, como indica la figura, trazaremos en cada uno de ellos una semicircunferencia, si queremos que sean de arco cumplido, de modo que sus puntos más altos F, G, H, I, estén en un mismo plano horizontal, haremos las rozas de enganche tales como ya lo hemos explicado, después, en cada uno de los puntos H, F, G, I, pondremos un clavo; al H y F ataremos los extremos de una cuerda de una longitud un poco mayor que las distancias que las separa y otra del mismo modo a los G, I. Hecho esto, en donde se cruzan las dos cuerdas, se cogen por una tercera, se tira hacia arriba de ésta y se ata a un punto más alto, situado en la vertical que pasa por el centro de la bóveda; y como las dos cuerdas son un poco más largas que las distancias que separa sus extremos, el punto O, quedará más alto que los H, G, I, F. A esta distancia del punto O a el plano que contiene las H, G, I, F se llama mira cuya longitud ha de estar en relación con el tamaño de la bóveda y es la que determina la inclinación de las generatrices de los cañones que la forman; y deve ser mayor esta relación a medida de la poca práctica del

operario, fijándose como términos entre los que varía de 1/20 a 1/30 de la luz, por mas que no hay en conveniente hacerlas de 1/10 si los operarios no tienen costumbre de hacer las bóvedas. Las cuerdas OF, OG, OH, OI, se llaman gías. Del punto O se ata un perpendicular el cual sirve de alidada de las aristas en el curso de la construcción.

Preparado del modo dicho se procede a asentar los dos primeros ladrillos en cada uno de los cuatro ángulos de la bóveda o arranques y para que formen el principio de las aristas con más perfección, se cortarán a inglete y sentarán según indica la f.a 36, pero cuando se ha llegado a enroscar, ya no es necesario este corte y basta sentarle tal como indica la f.a 37 si se ha de enroscar y enlucir después, en cuyo caso el lucido forma la arista viva; sin embargo de que descubierto no hará mala vista si el alvañil lo hace con perfección. Se seguirán sentando las demás hiladas como esplicamos en la bóveda en cañón, hasta llegar a el enrosque. Una vez llegado a enroscar, han de tener los operarios el cuidado de que el vértice de intradós, o sea el ladrillo que hace clave en cad rosca, toque a su guía correspondiente, de que cada rosca lleve la curvatura de la primera, para lo que se irá desalaveando por visuales dirigida de los puntos de las aristas inferiores de los cantos de las rosca en construcción a sus correspondientes de la directriz o primera rosca; y así como los vértices de intradós de las cuatro rosca, que se unen dos a dos en un mismo punto de la arista, están en un mismo plano horizontal, del mismo modo lo han de estar los

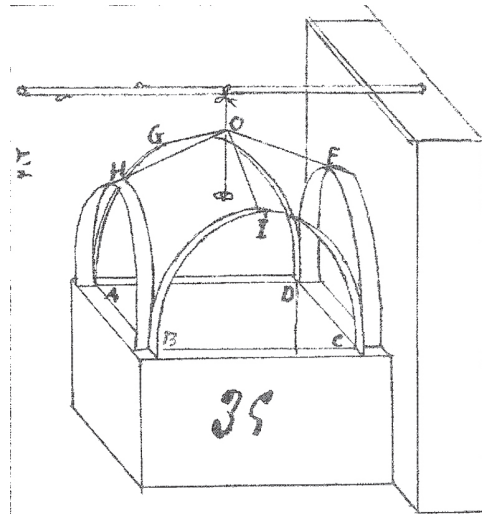


Figura 11
Replanteo y trazas de la bóveda de aristas (Paredes [1883] 2004, f 35)

cuatro puntos de unión, por ser la bóveda de planta cuadrada (Paredes 1893, 107).

En el caso de Auguste Choisy en el *Arte de construir en Bizancio*, describirá de forma profusa la construcción sin cimbra de forma casi idéntica a como lo han venido realizado nuestros maestros de obras hasta la actualidad. Pone especial atención este autor en la transición de las aristas, muy acentuadas en los arranques, hasta una superficie casi esférica donde aquellas prácticamente desaparecen en el tercio superior de la bóveda. Vemos que lo que se atribuye en el caso bizantino al método de generación adoptado en nuestro caso, no es más que el peraltado de la clave respecto a los arcos de los muros perimetrales, y su práctica se realiza sin atender en absoluto a la geometría resultante de los arcos diagonales que resulta siempre intrascendente. A partir de la construcción de la bóveda de cañón, mediante hiladas inclinadas y troncocónicas describe la aplicación del método a las bóvedas de aristas y cúpulas. Es interesante, por su aproximación a la espiga, señalar la solución de bóveda esférica «en la que se alternan hojas paralelas a los planos diagona-

les y a los formeros», donde se aprecia la sucesión de superficies triangulares esféricas generadas en las diagonales de la bóveda, de forma que se interrumpe la continuidad de las juntas en la plementería de la superficie esférica (figura 12). El plegado de esos triángulos esféricos para su adaptación a la solución de aristas, nos daría como resultado una figura muy próxima a la punta de flecha hacia la que evolucionaron, con su práctica, los constructores de Extremadura.

En la publicación que sobre Construcción Civil realiza Ger y Lóbez, se pone de manifiesto un gran conocimiento, tanto de la práctica cotidiana que se lleva a cabo en el territorio en el que el autor desarrolla su labor, como de las publicaciones nacionales y extranjeras que en ese momento son de actualidad (entre las que sin duda se encuentra Choisy, al menos para la confección de la edición de 1885). Al igual que el autor en el que presumiblemente se inspira, va describiendo correlativamente la solución para bóvedas de cañón arrancando desde los paramentos extremos, para pasar al aparejo en el encuentro de dos cañones que da la pauta para realizar la bóveda de aristas y en forma similar la bóveda vaída:

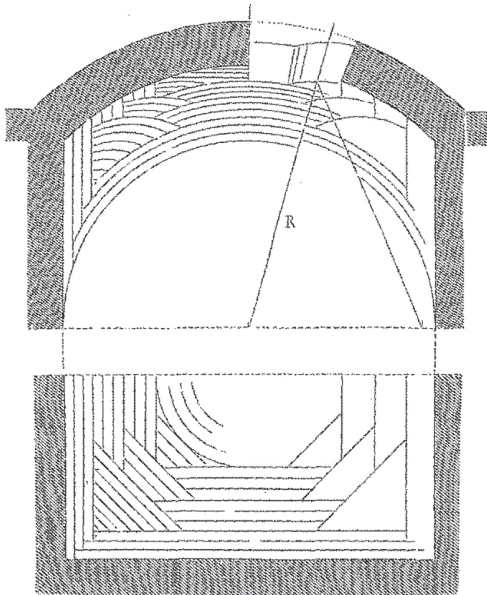


Figura 12
Alternancia de hojas paralelas a los planos diagonales con hojas paralelas a los formeros. (Choisy [1883] 1997,106)

La bóveda vaída llamada tapa de coche apoya en cuatro paredes ó arcos los dos medios ab, cd que forman un ángulo (figura 13). Para la construcción, de la bóveda, se

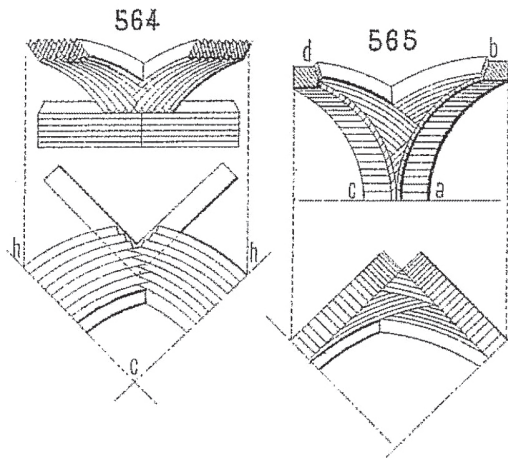


Figura 13
Proceso constructivo de la bóveda de aristas por extensión del método aplicado al cañón y su traslación a la bóveda vaída. (Ger [1898] 2001, f 564 565)

preparan los arcos ó paredes con un corte oblicuo, donde apoyar las hojas y se empieza por sentar en los cuatro ángulos unas hojas desde un arco, el cd por ejemplo, al otro ab. Sobre ellas apoyan otras tantas hojas que van á recostarse sobre el arco cd, y así se continúa apoyando las hojas sobre la sentada últimamente hasta que se llega a los vértices de los cuatro arcos; en cuyo caso se sigue sentando hojas todo alrededor hasta cerrar la bóveda con una pirámide de base cuadrangular cuyo vértice se halla en el centro del intradós. Pudiera adoptarse también el sistema de hiladas por zonas, de lechos cónicos, ó el de hacerlas paralelas a los arcos de cabeza ó paredes (figura 14) de modo que se encuentran en la curva meridiana am que parte del asiento inferior de la pechina (Ger y Lóbez 1885, 259).

El capitán de ingenieros, D. Antonio Albarrán, publica en la revista Memorial de Ingenieros del Ejército «Bóvedas de ladrillo que se ejecutan sin cimbra», con objeto de describir una técnica que se utiliza en Extremadura donde según el autor todas las bóvedas se ejecutan del modo indicado, cubriéndose con ellas los sótanos, aljibes, habitaciones de los pisos bajos y todas las casas de labor. Allí encontramos una intere-

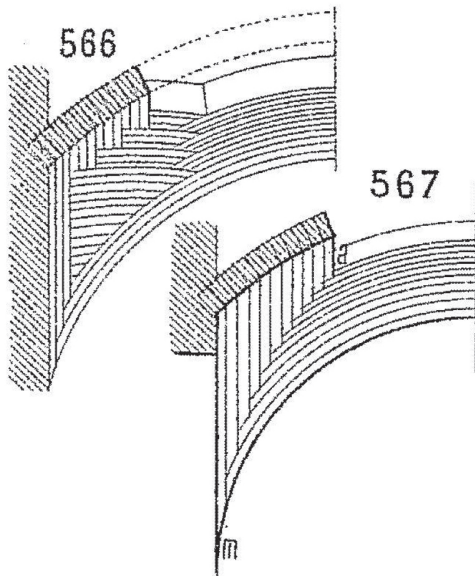


Figura 14
Proceso de hiladas por zonas de lechos cónicos y proceso de hiladas paralelas a los arcos de cabeza o paredes. (Ger [1898] 2001, f 566 567)

sante descripción del procedimiento, desde un punto de vista eminentemente práctico, justificando las bondades y economía del mismo en el que hace referencia al trabajo de Ger y Lóbez en lo relativo a bóvedas sin cimbra. Nos interesa señalar la solución que describe para el caso de bóveda vaída (a la que el denomina en rincón de claustro), con sucesión de cuatro hiladas troncocónicas que se van apoyando sucesivamente sobre la última de la secuencia anterior (recostándose sobre las anteriores), en esa búsqueda reiterada de evitar la fisuración por el encuentro de hiladas de ladrillo en las dos diagonales de la bóveda (figura 15).

Dichas bóvedas en rincón de claustro siempre están apeadas por cuatro arcos ó muros, donde se trazan los arcos de intradós y las correspondientes cajas análogas á las de las anteriores bóvedas. La ejecución es la misma que en las anteriores: se empieza por los cuatro ángulos haciendo dos, tres, cuatro hojas opuestas 1,1-2,2-3, 3... apoyadas en los muros ó arcos ab, dc, y arrancando de ad, bc; después se apoyan otras tantas hojas 1', r-2', 2'-3', 3'... en los arcos ad y bc arrancando de las hojas ya construidas; continuándose luego del mismo modo; es decir, arrancando siempre las hojas de las últimas construidas y

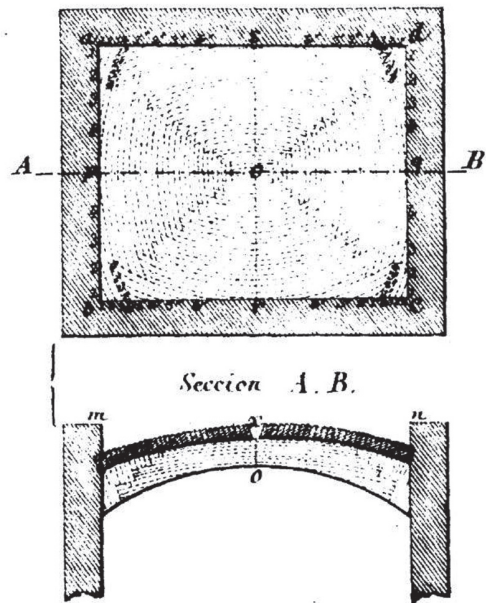


Figura 15
Ejecución de bóveda vaída (Albarrán 1885, fl6)

apoyándose ó recostándose sobre las anteriores; de este modo y efectuando las hojas opuestas á la vez se llegará al vértice, cuya abertura presentará la forma de una pirámide truncada de base rectangular, y cortando los ladrillos en forma de cuña el cierre no ofrece dificultad. Se guía la construcción valiéndose de una regla $m n$ colocada encima de dos muros opuestos y en sus puntos medios, y dos cuerdas pq, rs , atadas á los vértices de los arcos; a la intersección de estas cuerdas se une otra ox y se ata al punto medio de la regla mn , atirantándola más ó menos según se quiera que la bóveda tenga más ó menos peralte; el objeto no es más que marcar el vértice de la bóveda y que las cuerdas que van de uno á otro arco guíen la construcción. (Albarrán 1885, VIII 88)

Con su visión sobre el interés práctico de la solución, realiza una precisa valoración de los costes de ejecución de la bóveda, considerando los materiales necesarios y el tiempo de ejecución para unos operarios hábiles. Esto le permite concluir que el coste final es, en general, inferior al que habría de destinarse sólo para la ejecución de una cimbra.

CONCLUSIONES

La construcción de aristas mediante espigas sucesivas, constituye una evolución de la solución tradicional de encuentro de hiladas troncocónicas en la arista de la bóveda con los siguientes resultados:

Contiene una indudable expresión plástica de la habilidad del maestro, y por ello se utiliza primordialmente en aparejos que vayan a quedar vistos.

Mecánicamente permite reforzar un punto frágil y lugar de presencia de fisuras, derivado de la unión de las hiladas concéntricas en una línea crítica como es la arista de la bóveda.

El comportamiento final de la bóveda en su forma de trabajo frente a las sobrecargas de uso y la transmisión de empujes a los muros perimetrales, es idéntico al de las soluciones tradicionales en tanto estos derivan de su geometría final, y de la continuidad del material.

La economía de medios y coste de la ejecución en espiga, se mantiene en las mismas condiciones que la solución convencional en tanto la cantidad de material empleado es idéntica, la cimbra sigue siendo un elemento innecesario y será finalmente la habilidad del artesano la que determinará un plazo de ejecución similar para esta solución.

La numerosa presencia de esta solución en el territorio del Suroeste peninsular con mayor densidad en lugares como Moura, Olivenza, Plasencia, o Cáceres permitiría un proceso de catalogación del modelo para su difusión y protección.

LISTA DE REFERENCIAS

- Albarrán, José. 1885. «Bóvedas de ladrillo que se ejecutan sin cimbra». *Memorial de Ingenieros del Ejército*. Revista quincenal. Número de 15 de febrero de 1885 y siguientes.
- Boguerin, F. J. 1855. «Construcción de bóvedas de ladrillo sin el auxilio de cimbras ni yeso». *Revista de Obras Públicas*, 3, mayo de 1885.
- Choisy, Auguste. 1997 (1883) *El arte de construir en Bizancio*. Santiago Huerta Fernández, Francisco Javier Girón Sierra (eds.). Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU 1997
- Fortea Luna, M. y V. López Bernal. 1998. *Bóvedas extremeñas. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista*. Badajoz: Colegio Oficial de Arquitectos de Extremadura.
- Ger y Lóbez, Florencio. 1898. *Tratado de Construcción Civil por Florencio Ger y Lóbez*. Badajoz: La Minerva Extremeña. (Edición facs. Badajoz: Diputación de Badajoz, 2001)
- Huerta Fernández, Santiago. 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Paredes Guillén, Vicente. 1883. *Construcción sin cimbra de las bóvedas de ladrillo con toda clase de mortero*. Manuscrito, (Ed 2004 Mérida Consejería de Fomento Junta de Extremadura. Estudio y transcripción Francisco Javier Pizarro Gómez, José Sánchez Leal).
- Sánchez Leal, José, 2000, «Bóvedas extremeñas y alentejanas de rosca y sin cimbra», *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Sevilla, 26-28 octubre 2000*, eds. A. Graciani, S. Huerta, E. Rabasa, M. Tabales. Madrid: I. Juan de Herrera, SEDHC, U. Sevilla, Junta Andalucía, COAAT Granada, CEHOPU.
- Senent Domínguez, Rosa. 2011. «Las bóvedas irregulares del tratado de Vandelvira. Estrategias góticas en cantería renacentista», *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Santiago 26-29 octubre 2011*, eds. S. Huerta, I. Gil Crespo, S. García, M. Taín. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Vandelvira, Alonso de. s.XVII. *Libro de Traças de cortes de Piedras*. Manuscrito. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura. (Versión digitalizada: Colección Digital de la UPM, <http://cdp.upm.es/>)

