

## Piezas singulares de cantería en la ingeniería y la arquitectura militar de Cartagena en el siglo XVIII

José Calvo López

La cantería española del siglo XVI y comienzos del XVII ha sido analizada por numerosos estudios que han puesto de manifiesto su originalidad e importancia en el contexto europeo. Por el contrario, los estudios sobre la estereotomía española del siglo XVIII son prácticamente inexistentes, quizá por entender que la construcción pétreo española del período se limita a aplicar modelos franceses.

A lo largo del siglo XVIII, el establecimiento en Cartagena del Departamento Marítimo del Mediterráneo dio lugar a la reconstrucción de las murallas de la ciudad, acompañada de la implantación de fortalezas, cuarteles y otros edificios militares, que ha sido estudiada por diversos historiadores. Sin embargo, un aspecto concreto de estas construcciones ha pasado prácticamente desapercibido hasta ahora. Existen piezas singulares de cantería, como arcos en talud, en ocasiones esviados y abocinados, en varios puntos de la fortificación, como las Puertas del Socorro y San José o los tramos de la Muralla del Mar y la rambla de Benipila, y también en los castillos de los Moros y Galeras, así como un excepcional conjunto de bóvedas peraltadas de arista y de lunetos en el Hospital de Marina.

El presente trabajo aborda el estudio de estas piezas, con ayuda de los levantamientos pertinentes y el análisis de las soluciones estereotómicas aplicadas y la comparación con las propuestas de diversos tratados y manuscritos de construcción pétreo, para obtener una visión más precisa de esta faceta de la práctica constructiva española y sus posibles relaciones con la estereotomía francesa.<sup>1</sup>

### ARCOS EN TALUD

Los arcos en talud ocupan un lugar importante en los textos de la estereotomía clásica, desde los primeros textos sistemáticos de la cantería moderna, como los de De L'Orme (1567, 78v-79v), Vandelvira (1580, 23v-24r), Martínez de Aranda (1600, 53-60) y Jousse (1642, 26-33), hasta los tratados de Derand ([1643] 1755, 23, 33, 77-78, 84-88) De La Rue ([1728] 1738, 12-14) y Frézier (1737, 2: 142-161). Resulta particularmente importante el papel de estas piezas en el folleto de Desargues (1640) y el volumen de Bosse (1643), que se centran en la resolución por un mismo procedimiento de los arcos esviados, los abiertos en muros inclinados y los que tienen un eje en pendiente o *decendas de cava*.

El problema geométrico en sí es relativamente simple: se trata de cortar un cilindro circular por un plano oblicuo al eje, lo que dará en principio una elipse como intersección. Esta operación geométrica se puede entender también como la proyección de un arco de medio punto dispuesto en un plano vertical sobre el plano inclinado del talud; el arco se deformará a causa de la proyección sobre este plano oblicuo y se convertirá en una elipse.

En el Renacimiento, tanto Alonso de Vandelvira (1580, 23v-24r) como Ginés Martínez de Aranda (1600, 57-59) dan soluciones eficaces a este problema. Siguiendo a este último, más claro y completo, el problema se puede resolver sin más que trazar el alzado del arco de medio punto, la sección del talud

y la planta del arco, con las jambas perpendiculares a la línea de arranque del muro en talud. A continuación, Aranda pasa directamente a obtener las plantillas de intradós y de lecho de las dovelas que han de formar el arco, por abatimiento alrededor de la junta de intradós de cada dovela, como ha hecho antes en otros arcos de su manuscrito, comenzando por los esviados. En este caso, la resolución del problema es sencilla, pues basta considerar que los vértices de las plantillas se mueven en el abatimiento en planos perpendiculares a la junta de intradós inferior, que hace de eje; tomando del alzado la distancia entre dos juntas de intradós consecutivas, que se conserva en el abatimiento, resulta fácil construir la plantilla de lecho o intradós. En el arco en talud es preciso tener también en cuenta la pendiente del muro; tanto Aranda como Vandelvira resuelven esta dificultad sin más que trazar las rectas proyectantes que parten de los vértices de las dovelas y llevar a ellas las distancias horizontales entre cada vértice y la línea de arranque del talud, tomada de la sección; hecho esto, abaten sin dificultad las plantillas de lecho e intradós alrededor de la junta de intradós, lo que les permite abordar la labra de cada dovela por un método preciso y económico en trabajo y material.

Aunque estas soluciones resultan indiscutibles desde el punto de vista geométrico, en el plano formal presentan algunos inconvenientes. La imposta del arco, que viene dada por un segmento paralelo al

plano del talud, no se deforma en la proyección; por el contrario, las *tiranteces* o juntas de testa más próximas a la clave se alargan, puesto que son perpendiculares a las líneas proyectantes, pero no paralelas al plano del talud. Martínez de Aranda (1600, 21) propone una solución expeditiva para un caso similar, el arco abierto en un muro curvo: el cantero puede recortar las plantillas de lecho para darle a todas ellas el ancho de la imposta, falseando el trazado del trasdós. A mediados del siglo XVII se concede a la cuestión una importancia que resulta inverosímil a nuestros ojos: Blondel (1673) la incluye entre los cuatro principales problemas de la arquitectura (Germino 2005). Sesenta años más tarde, Frézier (1737, 2: 142–146) ofrece una solución exacta y elegante que prefigura la Geometría Descriptiva: podemos abatir el plano del talud, trazar en él una embocadura perfectamente circular y restituir esta figura para llevar a la planta y el alzado la testa que buscábamos, lo que de paso nos da la sección recta del hueco, que ya no será circular, sino que vendrá dada por una semielipse rebajada.

A pesar de la importancia que les concede la literatura de la cantería, los arcos en talud son relativamente poco frecuentes en la práctica, pues en principio la función militar de las murallas excluye la presencia de huecos. En España se pueden encontrar algunos ejemplares en la fortificación de la ciudad de Mallorca, en el tramo de la Huerta del Rey, así como en Cádiz, en la Muralla de San Carlos y en la Puerta de Tierra.

Cartagena conserva un repertorio relativamente amplio de estas piezas. En el castillo de Galeras, construido en lo esencial por Mateo Vodopich entre 1773 y 1778, con algunos remates a cargo de Leandro Badarán hacia 1788, se abre un arco de grandes dimensiones en la cortina que mira al mar y otros menores en el talud que alberga la puerta de acceso; estos últimos presentan un ligero abocinamiento. Existe además una pequeña escalera de caracol de ojo abierto, del tipo conocido en los manuscritos españoles como *Caracol de Mallorca* (Marzal 1991, 1078–1079; Marzal 2000, 440, 448, 451; Gómez y Munuera 2004, 196, 207, 213; Martínez, Munuera y Gómez 2004, 488–489).

El abocinamiento se repite en el sector de la Puerta de San José de la Muralla de Carlos III, construida según un proyecto de Pedro Martín Zermelo, reformado en parte por Francisco Llobet, que fi-

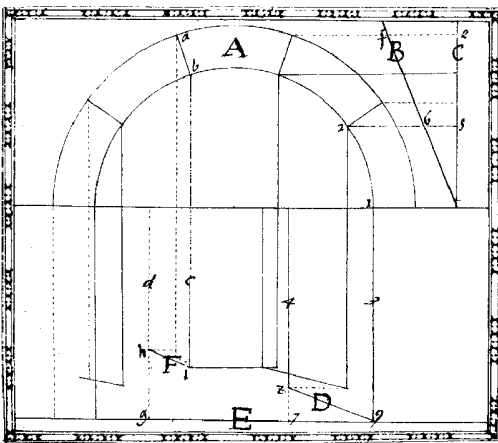


Figura 1  
Arco en talud. (Martínez de Aranda 1600)

nalmente fue dirigido por Mateo Vodopich entre 1772 y 1786. Los cimientos del tramo que aloja la puerta, en el frente del Batel, se iniciaron en 1779; la puerta en sí, hoy desaparecida, se construyó entre 1780 y 1786, si bien en 1789 aún se estaban realizando obras complementarias. Por tanto, los arcos en talud conservados hubieron de ser construidos entre 1779 y 1789, bien por Vodopich, que falleció en 1787, bien por Badarán (Rubio 1988:91–102; Rubio 1991, 244; Soler [1993] 1999, 60; Marzal 2000, 439–453; Soler 2002, 116–120; Gómez y Munuera 2004, 194–213; Martínez, Munuera y Gómez 2004, 416–418).

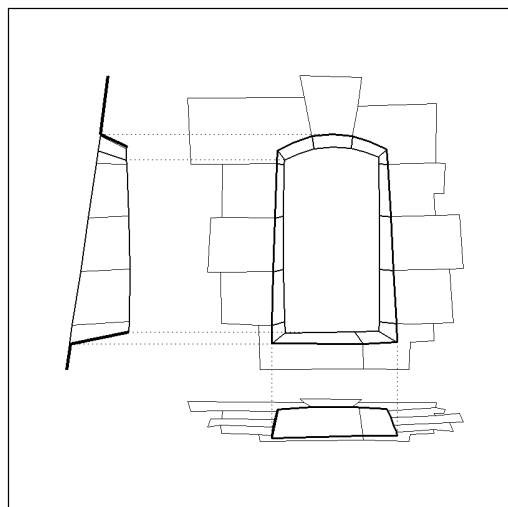


Figura 2  
Ventana abierta en un muro en talud. Muralla de Carlos III, junto a la Puerta de San José. Planta, alzado y sección. Levantamiento del autor

También encontramos arcos en talud, esta vez sin abocinamiento, en el frente de Benipila de la misma muralla, en el castillo de los Moros, y en la poterna del Hospital de Marina, abierta en 1783 en dicha muralla por Vodopich con objeto de permitir que los enfermos pasaran directamente de los barcos al Hospital, para evitar una epidemia en Cartagena; la obra concluyó en 1787, poco después de la muerte de Vodopich, con una escalera realizada por Badarán. (Soler [1993] 1999, 27, 58, 60; Marzal 2000, 455; Soler

2002, 99–101; Gómez y Munuera 2004, 180, 213; Martínez, Munuera y Gómez 2004, 416).

La mayoría de estas piezas presentan un rasgo singular: frente a los ejemplos gaditanos y la gran puerta de Galeras, en los arcos menores de esta fortaleza, en el castillo de Moros, en la poterna del Hospital y en la puerta de San José el arco generador no es de medio punto sino escarzano. Esto puede responder a una intención de esquivar el problema de la circularidad de la testa o la sección, pues en este tipo de arco ambas soluciones son difíciles de distinguir. Tampoco tiene sentido discutir si se hace algún esfuerzo para regularizar la longitud de las *tiranteces*, pues en la mayoría de los casos la forma que adopta el trasdós se descuida, lo que ofrece ciertas ventajas prácticas: se aprovecha mejor la piedra irregular que viene de la cantera y se obtiene una excelente trabazón con la fábrica del muro, resuelta por lo general en mampostería.

#### LAS EMBOCADURAS DE LA PUERTA DEL SOCORRO

La Puerta del Socorro o del Batel en la Muralla de Carlos III, próxima al Hospital de Marina, presenta una disposición singular. Se trata de un paso de directriz curva cubierto por una bóveda de cañón de ladrillo, realizado por Vodopich en el primer semestre de 1783 (Soler [1993] 1999, 59; Soler 2002, 103; Gómez y Munuera 2004, 180, 211, 216). La embocadura interior, frente al Hospital, se resuelve mediante un arco esviado, de tal manera que la testa es oblicua a ambas jambas y la cara posterior del arco; hoy día la disposición no resulta fácil de percibir, puesto que la cara interior de la muralla fue doblada en este tramo con una capa de mampostería y la cara testa del arco está oculta. Se trata de la pieza con la que se abre el manuscrito de Ginés Martínez de Aranda (1600, 6–8), el *Arco viaje por testa*. El autor propone una solución sencilla para este problema: bastará trazar el arco en planta y sección y abatir cada plantilla de intradós y lecho alrededor de la junta de intradós inferior, teniendo en cuenta que los vértices se desplazan en planos perpendiculares a la charnela y que se puede tomar de la sección la distancia entre dos juntas de intradós consecutivas.

Más complejo es el problema planteado por la embocadura exterior, que se abre en la cara en talud de la muralla, de tal manera que su eje, siguiendo la di-

rectriz del paso, resulta oblicuo a la línea de arranque del talud. Se trata, sin embargo, de una temática bien conocida en la literatura de la cantería, desde el manuscrito de Aranda al tratado de Frézier. De hecho, Martínez de Aranda (1600, 59–60) ofrece dos soluciones al problema: en una de ellas el plano vertical de la cara posterior del muro es perpendicular al eje del arco y en otra es paralelo a la línea de arranque del talud. En la primera de estas trazas, que corresponde a grandes rasgos al problema planteado en la puerta del Socorro, Aranda resuelve el problema con una sorprendente economía de medios. Como en el caso del arco en talud recto, traza la planta, la sección recta del arco y una sección del talud, que aquí no se toma por un plano perpendicular a la línea de arranque del talud, sino por un plano vertical que pasa por el eje del arco. Ahora bien, Aranda va a reutilizar esta sección para varios planos verticales paralelos a éste, aprovechando que las secciones del plano del talud por los planos paralelos son paralelas entre sí. Planteado así el problema, Aranda puede emplear sin más el método simple que acaba de proponer para el arco recto en talud: le bastará con trazar las rectas proyectantes de cada vértice de dovela, que coinciden con las juntas de intradós y están confundidas con las líneas de referencia que unen la planta y la sección recta; y a continuación, llevar a estas líneas de referencia las distancias horizontales entre los vértices y la línea de arranque del talud, que puede tomar sin más del talud, aprovechando que esta sección es válida para toda una familia de planos paralelos. Un técnico de nuestros días, formado en la Geometría Descriptiva, construiría al menos las secciones del plano de talud por cada uno de los planos verticales que pasan por los vértices de las dovelas; por el contrario, Aranda se limita a emplear, por así decirlo, una sección flotante, lo que le permite resolver el problema con una gran economía de trazado, que resulta esencial si pensamos que estas monteas se realizaban a tamaño natural, por lo común en el suelo y en ocasiones debajo del arco que se pretendía construir.

Frente a esta solución simple, Frézier (1737, 2: 152–158) se plantea de nuevo dar forma circular al arco de testa, abatiendo el plano del talud, trazando la embocadura en el abatimiento y restituyendo el resultado, lo que le lleva a una disposición sorprendente, puesto que la sección recta será elíptica, pero no simétrica respecto al plano vertical que pasa por el

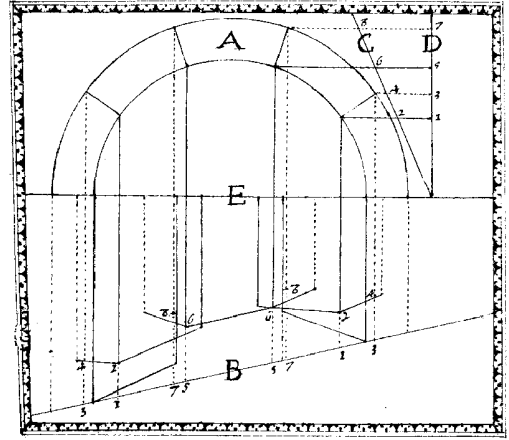


Figura 3  
Arco en talud esviado. (Martínez de Aranda 1600)

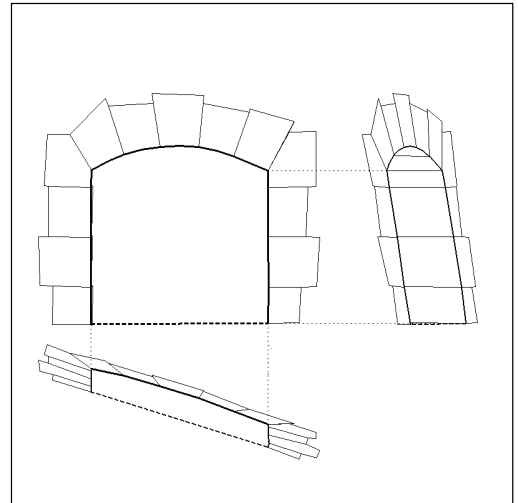


Figura 4  
Embocadura exterior de la puerta del Socorro, en la Muralla de Carlos III. Planta, alzado y perfil. Levantamiento del autor

eje del hueco, puesto que sus ejes serán inclinados. No parece que este modelo se siga estrictamente en el arco de la puerta del Socorro, que tiene la testa en arco escarzano, con la cara superior irregular, como

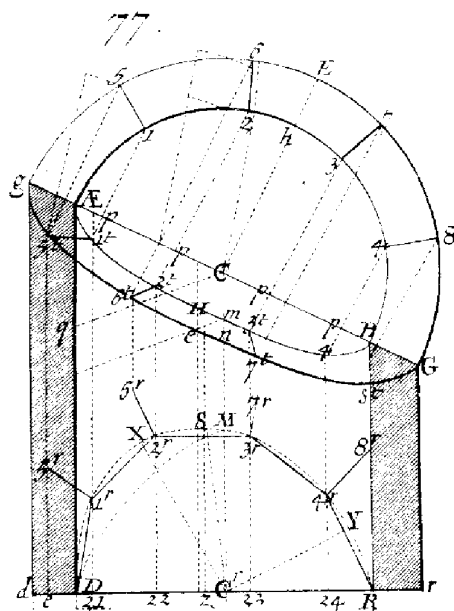


Figura 5  
Arcos en talud. (Frézier 1737)

en la puerta de San José o la poterna; este desinterés por los trasdoses contrasta con la ejecución relativamente cuidada de las jambas y el intradós del arco.

#### LAS BÓVEDAS PERALTADAS DEL HOSPITAL DE MARINA

El Hospital de Marina de Cartagena, construido entre 1749 y 1762 por el ingeniero militar Sebastián Feringán (Soler [1993] 1999, 12, 26, 28; Gómez y Munuera 2004, 178), se articula en torno a dos grandes patios rodeados de galerías abiertas. Estos corredores se cubren en la planta baja mediante unas singulares bóvedas de arista encadenadas, de sección peraltada, realizadas en la arenisca local o *tabaire*. Además existen otros dos tramos más cortos que unen ambos patios. En las dos plantas superiores las bóvedas presentan un trazado muy semejante, pero actualmente están revocadas; probablemente se construyeron en ladrillo para reducir gastos. También existen algunos capialzados reglados en el Hospital, así como en el Cuartel de Antiguones.

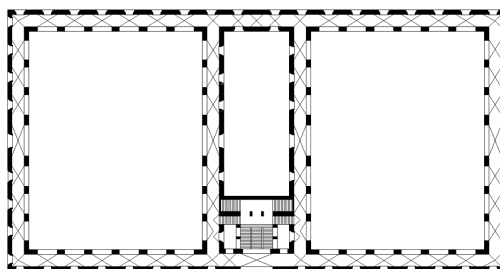


Figura 6  
Planta de las bóvedas de arista encadenadas en las galerías perimetrales de la planta baja de los patios del Hospital de Marina. Esquema del autor sobre un plano de Martín Lejárraga y Francisco Ruiz Gijón

Centrándonos en las bóvedas de la planta inferior, se emplean tres *cimbras* o curvaturas diferentes, pues la testa de los arcos centrales de las pandas que miran a levante y poniente viene dada por un arco carpanel, mientras que los arcos restantes son de medio punto, de tal manera que unos y otros tienen las claves a la misma altura. Ahora bien, el ancho del corredor es menor que la luz de los arcos de medio punto. El problema se podría haber resuelto mediante bóvedas de lunetos, pero Feringán evita esta figura, salvo en algunos puntos próximos a los corredores que enlazan ambos patios, y de nuevo coloca las claves de unas bóvedas y otras a la misma altura.

El levantamiento por fotogrametría monoscópica realizado con ocasión de este trabajo ha permitido determinar que la sección de las bóvedas longitudinales es elíptica. De esta manera, las bóvedas quedan generadas por las semielipses peraltadas de la sección recta de las bóvedas longitudinales y las testas de las bóvedas transversales, que son circulares en la mayoría de los casos, excepto en los arcos centrales, donde vienen dadas por arcos carpaneles. Cada una de estas directrices genera un cilindro circular o elíptico y las intersecciones vienen dadas por semielipses rebajadas, materializadas por las aristas de la bóveda. La ejecución es en general bastante cuidada; incluso algunos detalles llamativos, como ciertos vértices de dovelas que quedan algo separados de la arista, demuestran cierto sentido práctico, pues así se evita un borde agudo que podría mellarse durante el transporte o la colocación de la dovela.

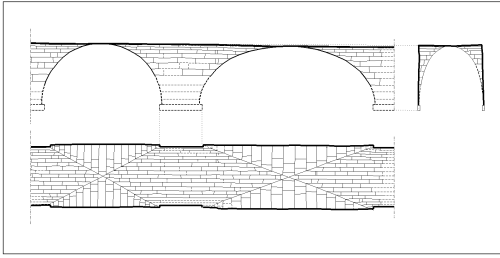


Figura 7  
Bóvedas de arista en la planta baja del Hospital de Marina. Planta, sección longitudinal y sección transversal de un tramo ordinario, con la embocadura de la bóveda transversal en arco de medio punto; y un tramo central, con la embocadura en arco elíptico rebajado. Levantamiento del autor

A primera vista, podríamos pensar que la elección de la sección elíptica se debe exclusivamente a la intención de acordar las bóvedas sin necesidad de emplear lunetos. Ahora bien, Blondel (1675, 4: 418–420) recomienda emplear arcos peraltados por su menor empuje, presentando un gráfico muy ilustrativo basado en una regla de cálculos de empujes que recomienda igualar el ancho de los estribos a la proyección horizontal del primer tercio del desarrollo del arco. Por tanto, podemos entender que las bóvedas peraltadas de Feringán pretenden resolver al mismo tiempo un problema formal y otro estructural.

Tanto las semielipses peraltadas como la regla del tercio del desarrollo eran bien conocidas en la tradición hispánica; de hecho, la regla se aplica con frecuencia a los arcos de medio punto, en España y fuera de ella (Gil de Hontañón 1550, 18v-19; Huerta 2004, 142–148). La extrapolación de la regla a otro tipo de arcos, como los escarzanos y apuntados aparece por primera vez explícitamente en los *Cerramientos y trazas de montea* (Martínez de Aranda 1600, 5–6). Aranda no emplea los arcos elípticos peraltados para ilustrar la regla del tercio, pero abre los *Cerramientos* (Martínez de Aranda 1600, 1–2) generalizando los métodos de construcción de elipses de Durero (1525, 15v), Serlio (1584, 1: 11v) y De L’Orme (1561, 13r-13v) para obtener semielipses peraltadas y no sólo rebajadas; además, Aranda empleó arcos elípticos peraltados en la reconstrucción de la iglesia de Santa Cruz de Cádiz tras el asalto inglés de 1596, probablemente para afrontar los pies forzados

impuestos por los elementos conservados de la iglesia (Calvo 2002, 420–426; Calvo 2005).

También resultan significativas para nuestros propósitos las soluciones de Vandelvira y Aranda para las bóvedas en rincón de claustro y acodadas. El *Libro de trazas de cortes de piedra* ofrece una *Capilla por arista perlongada*, que en realidad corresponde a lo que hoy llamaríamos una bóveda esquifada (Vandelvira 1580, 80v). Los arcos generadores de los dos semicilindros que forman la bóveda tienen luces diferentes, pero han de tener las claves a la misma altura; Vandelvira resuelve el problema dando al arco mayor forma de semielipse rebajada. Otro tanto ocurre con el *Rincón de claustro desigual*, que corresponde a una bóveda acodada con cañones de luces diferentes (Vandelvira 1580, 26r). Frente a esta opción, Martínez de Aranda (1600, 87–88) propone con cierta timidez la solución inversa, dando un trazado elíptico peraltado al brazo menor y directriz circular a la bóveda mayor; resulta significativo comprobar que el dibujo de Aranda representa tanto las dos testas rebajadas del arco que resuelve el encuentro entre

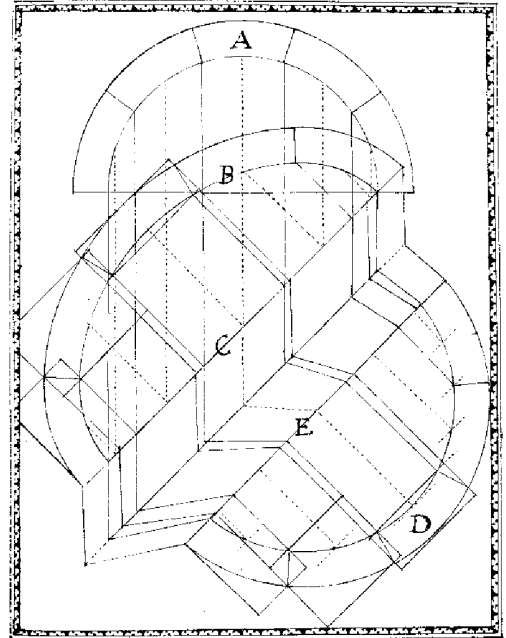


Figura 8  
Arco en rincón de claustro. (Martínez de Aranda 1600)

ambas bóvedas como la sección circular del cañón mayor, pero no la sección del cañón menor, que ha de ser necesariamente una semielipse peraltada. El método de Aranda reaparece en Frézier (1737, 3: 25), que resuelve la bóveda acodada dando sección circular al cañón mayor, lo que le lleva a obtener una sección elíptica rebajada en la arista y peraltada en el cañón menor.

Como he expuesto en otro trabajo (Calvo 2002; Mariás 2005), existen arcos elípticos peraltados en el Escorial, anteriores a la redacción de los *Cerramientos* y la reconstrucción de Santa Cruz de Cádiz; más adelante, el jesuita François Derand, autor de un tratado de cantería muy divulgado, *L'architecture des vouïtes*, empleó estos arcos en la iglesia parisina de Saint-Paul-Saint-Louis y los incluyó en su tratado como ilustración de la regla de cálculo de Aranda y Blondel, por referencia al mismo autor al que nos referimos más arriba, que una vez más la incluye en su obra empleando arcos elípticos peraltados como ilustración (Derand [1643] 1755, 10; Evans 1995, 213–214). Entrando en el terreno de la hipótesis, podríamos pensar que el interés por esta temática pasó de El Escorial y la Academia de Matemáticas impulsada por Herrera al Colegio Imperial madrileño, vinculado a la Compañía de Jesús, un centro esencial en la historia de la ciencia española, con importantes contactos internacionales, y de ahí a Derand, Blondel y Frézier, que emplea semielipses peraltadas en más de una ocasión, si bien rechaza explícitamente la regla del tercio, como había hecho antes Bélidor. Por otra parte, tanto el Colegio Imperial como la Academia de los tiempos de Herrera son antecedentes indirectos de la Academia Militar de Matemáticas de Barcelona o la que se pretendió establecer en Sevilla (Marzal 1991, 185–189, 227, 511–512; Galindo 1996, 169–170); esto nos lleva a plantearnos el problema de la formación constructiva de los ingenieros españoles del siglo XVIII, que trataré en el próximo apartado.

#### TRADICIÓN HISPÁNICA Y TRATADÍSTICA FRANCESA

Sebastián Feringán exponía en un memorial a Juan Martín Zerreño redactado en 1756 que

Me crié en la ciudad de Fraga . . . bajo la tutela de mi hermano mayor, Pedro . . . empleado en la cuenta y razón de la provisión de víveres que pasaban al ejército y

sitio de Barcelona en que también asistí, después de haber hecho los estudios de latinidad y cursado, por genio e inclinación, con un sacerdote los primeros rudimentos de matemáticas . . . Y con la fábrica de la ciudadela y trato de algunos ingenieros avivé mi aplicación a las matemáticas con un religioso de San Francisco y con el auxilio de los libros e instrumentos de que me proveí, porque en aquel tiempo no había Academia . . . Y aunque se me convidó para servir a los batallones que se formaron en el año 1718, no admití, pareciéndome . . . sería impediendo para pasar al servicio del Cuerpo de Ingenieros, al que eficazmente llamaba mi inclinación. Y conseguí el empezar a servir de ingeniero voluntario en las obras de la ciudadela de Barcelona el 1 de Noviembre de 1718.

La Academia a la que se refiere el memorial es la Militar de Matemáticas de Barcelona, creada en 1700, cerrada a raíz de la Guerra de Sucesión y reestablecida en 1720; como consecuencia de estos avatares, Feringán no recibió una formación científica sistemática (Rubio y Piñera 1988, 125; Marzal 1991, 227–238, 1122–1125). Tampoco recibió Francisco Llobet una educación constructiva formal, pues empezó a servir en el Cuerpo de Ingenieros como delineador, también en Barcelona y precisamente en 1720, a pesar de lo cual llegó a ser Director de la Sociedad Militar de Matemáticas de Madrid entre 1756 y 1760. Hasta donde llega nuestro conocimiento, lo mismo se puede decir de Vodopich: tras servir en la compañía de Guardias de Corps de La Habana, ingresó en el Cuerpo de Ingenieros en 1736, pasando a Cartagena en 1749 bajo las órdenes de Feringán, con el que colaboró durante doce años, pasando a su muerte a dirigir las fortificaciones del reino de Murcia y las obras del Arsenal de Cartagena en 1761.

Entre los ingenieros que participaron en las piezas de cantería que venimos analizando, el único que asistió a la Academia de Barcelona fue Leandro Badarán; después de servir en varios destinos llegó a Cartagena entre 1786 y 1788, fecha en la que quedó encargado de la dirección de obras en marcha y labor de mantenimiento, dependiendo de Valencia, pues lo esencial del ambicioso programa de fortificación de Cartagena estaba concluido en ese momento, para ser destinado a Orán en 1790 (Rubio y Piñera 1988, 161, 175–177, 181; Marzal 1991, 1078–1079, 1122–1125, 1171–1169, 1258–1260).

Por todo esto, hemos de pensar que la formación constructiva de los ingenieros que participaron en la construcción de la base naval de Cartagena fue esen-

cialmente práctica; cuando llega a Cartagena un ingeniero formado en la Academia de Barcelona, Leandro Badarán, lo hace para mantener un sistema de edificios y fortificaciones que está terminado en lo esencial. Aún así, merece la pena repasar algunos datos acerca de las instituciones de enseñanza militar de la España del siglo XVIII, pues dada la estructura centralizada del Cuerpo de Ingenieros, la Academia de Barcelona desempeñó un papel de foco científico fundamental, complementado durante algunos años por la Sociedad madrileña. Hemos visto a Feringán excusándose por no haber asistido a la Academia de Barcelona y a Llobet dirigiendo la Sociedad; también es preciso tener en cuenta que los exámenes de ingreso en el Cuerpo de Ingenieros, que superó Vodopich en 1736, guardaban cierta relación con los programas didácticos de la Academia de Barcelona (Marzal 1991, 265–266, 373; Galindo 1996, 184).

La ordenanza de 1739, establece entre otras disposiciones que en el tercer curso de la Academia se había de explicar «la descripción de plantas, y perfiles de [las partes de un edificio], tanto rectos como oblicuos: la formación de las bóvedas y arcos más comunes: el empujo de ellos contra los pies derechos, o muros que los sostienen: y la robustez que estos han de tener para resistirle: la calidad de los materiales, y el modo de emplearlos en las construcciones de las obras: la forma de hacer seguros los cimientos sobre los distintos terrenos, en aguas corrientes o quietas . . . » (Capel, Sánchez y Moncada 1988, 128–130; Marzal 1991, 268–272, 289–292; Galindo 1996, 172–173). Igualmente interesantes resultan los párrafos de la ordenanza que establecen que para las demostraciones prácticas la Academia debería disponer de «dos escuadras grandes de madera; dos saltarreglas . . . dos pirámides cónicas, una recta y otra escalena, cortadas por diversas partes, para manifestar en sus secciones la elipse, la hipérbola y la parábola; dos cilindros, uno recto y otro escaleno, cortados por sus ejes . . . cinco arcos de diversos géneros divididos en las dovelas correspondientes»; en aplicación de estas disposiciones, Lucuce solicita fondos para adquirir los instrumentos en 1743, y en 1751 ya se disponía de ellos en número suficiente (Capel, Sánchez y Moncada, 1988, 134; Marzal 1991, 322–323, 349, 424–425).<sup>2</sup>

Por otra parte, se ha conservado un buen número de manuscritos que nos permiten conocer el desarrollo efectivo de la enseñanza en la Academia. Dejando

aparte los de la primera época, bajo la dirección de Mateo Calabro, los más interesantes para nuestros propósitos son los apuntes de las clases impartidas según las directrices de Pedro de Lucuce, y en particular el tratado octavo, que versa sobre la Arquitectura Civil y trata entre otras cuestiones de la firmeza y seguridad de las construcciones, de los empujes de las tierras y del modo de hallar el grueso que se ha de dar a los muros y la manera de calcular la sección de los pies derechos para resistir el empuje de arcos y bóvedas, con láminas tomadas de Béliador. Sabemos además que en esta época y durante las décadas posteriores se empleaba como libro de texto el *Compendio Matemático* del padre Tomás Vicente Tosca, tomado del *Cursus seu mundus mathematicus* de Milliet-Dechales; tanto uno como otro incluyen sendas partes dedicadas a los problemas geométricos del corte de piedras (Capel, Sánchez y Moncada, 1988, 220, 223–224, 226–231; Marzal 1991, 238–241, 330–333, 359, 381, 854–866, 870–880; Galindo 1996, 171, 174–181; Tosca 1707; Milliet-Dechales 1674).

Este programa didáctico estaba apoyado por una biblioteca relativamente amplia; la Academia de Barcelona contaba con *La pratique du traict . . . de M. Desargues pour la coupe des pierres . . .* de Abraham Bosse, el *Cursus seu mundus mathematicus* del padre Milliet-Dechales, el *Compendio Mathematico* de Tosca y el *Traité de stéréotomie* de Frézier; a la disolución de la Sociedad de Matemáticas de Madrid llegan a Barcelona otro ejemplar de Frézier y *L'architecture des voûtes* de Derand. Además de éstos, la Sociedad madrileña contaba con la *Teórica y práctica de fortificación* de Cristóbal de Rojas, citado por Lucuce, que incluye diez folios con trazas de cantería, mientras que la Academia de Guardias de Corps contaba con otro ejemplar de Frézier. También merece la pena reseñar que la biblioteca de la Academia de Artillería de Segovia, fundada en 1764 como Colegio de Caballeros Cadetes, cuenta en la actualidad con ejemplares de Dechales y Frézier (Marzal 1991, 424, 502–505, 843, 865, 905–996).<sup>3</sup>

Valorar estos datos exige cierta prudencia. Es cierto que no existe en la Academia de Barcelona un curso de Teoría del Corte de las Piedras como el que Gaspard Monge impartió en la Escuela de Mézières (Sakarovitch 1995; Sakarovitch 1997, 241–247), pero también es preciso señalar el carácter pionero de la institución catalana, anterior en varias décadas



a la escuela de Mézières; como han señalado Capel, Sánchez y Moncada (1998, 171–174), esta prioridad se refleja en el orgullo del que hace gala Feringán al defender su propuesta de Arsenal frente a los ejemplos de Marsella y El Ferrol.

Llegados a este punto, hemos de ponderar en qué medida las piezas singulares de cantería de la arquitectura militar cartagenera derivan de una tradición hispánica o de la influencia de los tratados franceses. Más que una contraposición entre una y otra, habría que ver en ambas un carácter complementario. Los ingenieros que participaron en la construcción de la base naval de Cartagena, con la excepción de Badarán, que llega cuando el programa de fortificaciones está prácticamente terminado, se formaron en la práctica constructiva; pero necesariamente hubieron de conocer los programas educativos y las bibliotecas de Barcelona y Madrid. Consideremos el caso del *Caracol de Mallorca* del castillo de Galeras: se trata de un tipo constructivo de antigua tradición ibérica, pues su propia denominación lo vincula a la Lonja de Mallorca de Guillem Sagrera (Zaragoza 1992, 103–104); recogido después por Vandelvira (1580, 51r) y Aranda (1600, 246–247), pasa casi literalmente a Jousse (1642, 180–181) como *Vis à jour de pierre* y de ahí, más o menos transformado, a la práctica totalidad de los tratados franceses. Todo esto, como la evolución de los arcos en talud o las bóvedas peraltadas, nos hace pensar que los ingenieros españoles pudieron entender los tratados franceses como una confirmación y puesta al día de una tradición constructiva propia, en el marco de la reciprocidad de intercambios entre el ámbito hispánico y el francés de la que habla Pérouse de Montclos ([1982] 2001, 212), del mismo modo que los baluartes de Vauban encuentran un antecedente en los de Pedro Luis Escrivá y Cristóbal de Rojas.

## NOTAS

1. Este trabajo se inscribe en los proyectos de investigación «Construcción en piedra de cantería en el ámbito hispánico. Fuentes documentales y patrimonio construido», del Ministerio de Educación y Ciencia, con referencia BIA2006–13649 y «Historia de la Construcción e Historia del Urbanismo en la Región de Murcia» de la Fundación Séneca. Agradezco vivamente a José Antonio Martínez y a Martín Lejárraga su generosidad al facilitarme la hoja de servicio de Pedro de Lucuce y

otros muchos documentos y un plano del Hospital de Marina, respectivamente. La dirección de un trabajo de investigación sobre la arquitectura militar cartagenera, realizado en la Universidad Politécnica de Cartagena por Matilde Ortega, me ha dado ocasión de discutir con ella varios de los puntos que se abordan en este trabajo.

2. En la transcripción de la ordenanza por Capel, Sánchez y Moncada figura «divididos en *dos* dovelas correspondientes», pero podría tratarse de un error.
3. Respecto a Segovia, ver el Catálogo Colectivo del Patrimonio Bibliográfico Español, <http://www.mcu.es/bibliotecas/MC/CCPB/index.html>.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Blondel, François. 1673. *Résolution des quatre principaux problèmes d'architecture* . . . París: Imprimerie Royale.
- Blondel, François. 1675–1683. *Cours d'architecture enseigné dans l'Académie Royale d'Architecture* . . . París: Roulland-Langlois.
- Bosse, Abraham. 1643. *La pratique du traict a preuues de M. Desargues pour la coupe des pierres en l'Architecture*. París: Abraham Bosse.
- Calvo López, José. 2002. La semielipse peraltada. Arquitectura, mecánica y geometría en las últimas décadas del siglo XVI. En *El Monasterio del Escorial y la arquitectura*, 417–435. El Escorial: Instituto de Investigaciones Artísticas e Históricas.
- Calvo López, José. 2005. La catedral vieja de Cádiz a la luz de los documentos del Archivo de Simancas. En *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, 185–194. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Capel, Horacio; Joan Eugeni Sánchez y Omar Moncada. 1988. *De Palas a Minerva. La formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII*. Madrid.
- Derand, P. François. 1643. *L'Architecture des voûtes ou l'art des traits et coupe des voûtes*. París: Sébastien Cramoisy.
- Desargues, Girard. 1640. *Brouillon project d'exemples d'une manière universelle . . . touchant la pratique du trait a preuve pour la coupe des pierres . . .* París: Melchoir Tavernier.
- Evans, Robin. 1995. *The Projective Cast*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Dürer, Albrecht. 1525. *Underweysung der messung mit dem zirkel und richtscheyt* . . . Nuremberg: s.e.
- Frézier, Amédée-François. 1737–1739. *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois . . . ou traité de stéréotomie a l'usage de l'architecture*. Estrasburgo-París: Jean Daniel Doulsseker-L. H. Guerin.
- Galindo Díaz, Jorge Alberto. 1996. *El conocimiento constructivo de los ingenieros militares españoles del siglo*

- XVIII. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Gerbino, Anthony. 2005. François Blondel and the «Résolution des quatre principaux problèmes d'architecture» (1673). *Journal of the Society of Architectural Historians*, 64, 4: 498–521.
- Gómez Vizcaíno, Aureliano y David Munuera Navarro. 2004. La fortificación del siglo XVIII. En *Estudio y catalogación de las defensas de Cartagena y su bahía*, coordinado por José Antonio Martínez López y Ángel Iniesta San Martín. <http://www.arqueomurcia.com>.
- Jousse, Mathurin. 1642. *Le secret d'architecture découvrant fidèlement les traits géométriques, coupes et dérochements nécessaires dans les bastimens*. La Flèche: Georges Griveau.
- L'Orme, Philibert de. 1561. *Nouvelles inventions pour bien bastir a petits frais*. París: Federic Morel.
- L'Orme, Philibert de. 1567. *Le premier tome de l'Architecture*. París: Federic Morel.
- La Rue, Jean-Baptiste de. 1728. *Traité de la coupe des pierres où par méthode facile et abrégée l'on peut aisément se perfectionner en cette science*. París: Imprimerie Royale.
- Martínez de Aranda, Ginés. 1600. *Cerramientos y trazas de montea*. Ms. Servicio Histórico del Ejército, Madrid. Ed. facsimilar Madrid, Servicio Histórico del Ejército - CEHOPU, 1986.
- Martínez López, José Antonio, David Munuera Navarro y Aureliano Gómez Vizcaíno. 2004. Catálogo de fortificaciones y baterías. En *Estudio y catalogación de las defensas de Cartagena y su bahía*, coordinado por José Antonio Martínez López y Ángel Iniesta San Martín. <http://www.arqueomurcia.com>.
- Mariás, Fernando. 2005. Cuando el Escorial era francés: problemas de interpretación y apropiación de la arquitectura española. *Anuario del Departamento de Teoría e Historia del Arte de la Universidad Autónoma de Madrid*, XVII: 21–32.
- Marzal Martínez, Amparo. 1991. *La ingeniería militar en la España del XVIII, nuevas aportaciones a la historia de su legado científico y monumental*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- Marzal Martínez, Amparo. 2000. Cartagena, modelo de ingeniería militar del siglo XVIII. En *Historia de Cartagena*, VIII:423–456. Murcia: Mediterráneo.
- Milliet-Dechales, P. Claude François. 1674. *Cursus seu mundus mathematicus*. Lyon: Anisson.
- Pérouse de Montclos, Jean-Marie. [1982] 2001. *L'Architecture a la française*. París: Picard.
- Rubio Paredes, José María. 1991. *La muralla de Carlos III en Cartagena*. Murcia: Academia Alfonso X.
- Rubio Paredes, José María y Alvaro de la Piñera y Rivas. 1988. *Los ingenieros militares en la construcción de la base naval de Cartagena*. Madrid: Servicio de Publicaciones del Estado Mayor del Ejército.
- Sakarovitch, Joël. 1995. The teaching of stereotomy in engineering schools in France in the XVIIIth and XIX centuries: an application of Geometry, an 'Applied Geometry', or a construction technique? En *Entre mécanique et architecture*, ediatado por Patricia Radelet-de Grave y Edoardo Benvenuto, 204–218. Berlín-Basilea-Boston: Birkhauser.
- Sakarovitch, Joël. 1997. *Epures d'architecture*. Berlín-Basilea-Boston: Birkhauser.
- Serlio, Sebastiano. [1545] 1584. *Tutte le opere di architettura . . .* Venecia: Francesco de Franceschi.
- Soler Cantó, Juan. [1993] 1999. *El Hospital Militar de Marina de Cartagena*. Cartagena: Universidad Politécnica.
- Soler Cantó, Juan. 2002. *Puertas de Cartagena*. Cartagena: El autor.
- Tosca, P. Thomas Vicente. 1707–1715. *Compendio matemático, en que se contienen todas las materias más principales de las Ciencias, que tratan de la cantidad . . .* Valencia: Antonio Bordazar - Vicente Cabrera.
- Vandelvira, Alonso de. c. 1580. *Libro de trazas de cortes de piedras*. Copia en Madrid, Biblioteca de la Escuela de Arquitectura. Ed. facsimilar: *Tratado de arquitectura*, Albacete, Caja Provincial de Ahorros, 1977, con transcripción y prólogo de Geneviève Barbé-Coquelin de Lisle.
- Zaragoza Catalán, Arturo. 1992. El arte del corte de piedras en la arquitectura valenciana del cuatrocientos. Francesch Baldomar y el inicio de la esterotomía moderna. En *Primer Congreso de Historia del Arte Valenciano*, 97–105. Valencia: Generalitat Valenciana.