

ESTEREOTOMÍA DE LA PIEDRA

Dr. D. José Calvo López

Arquitecto. Profesor titular. Universidad Politécnica de Cartagena

LA TRAZA DE CANTERÍA, PRINCIPAL PARTE DE LA ARQUITECTURA

A los ojos de un arquitecto del siglo XXI, no es fácil comprender la enorme importancia que se concede a la traza de cantería en el Renacimiento y el Barroco español y francés. Ginés Martínez de Aranda, cantero, arquitecto, maestro mayor de las catedrales de Cádiz y Santiago de Compostela a principios del siglo XVII, comenzaba así el manuscrito titulado *Cerramientos y trazas de montea*: «Como considerase que muchos de los sabios arquitectos antiguos que escribieron en el arte de Arquitectura y la experimentaron en grandes edificios que al presente hay hechos no pusieron en plática los lineamentos de las trazas de montea [...] me pareció ponerlas por escritura [...] especialmente sabiendo la necesidad que el arte de arquitectura tiene de estas dichas trazas de montea por ser principal parte suya».

Estos misteriosos *lineamentos* son trazados de piezas singulares de cantería, que se tienen por finalidad principal obtener las plantillas de intradós y lecho de las dovelas del elemento que el cantero quiere construir. En el caso de los muros, los arcos de medio punto o escarzanos y las bóvedas de cañón o rebajadas, este problema es elemental, y Martínez de Aranda no se molesta en explicarlo; la primera parte de su manuscrito trata sobre *arcos dificultosos*, que son todos los demás. Ahora bien, este saber olvidado es necesario para construir una fábrica de piedra medianamente compleja: cualquiera que incluya lunetos, bóvedas de arista, de naranja, vaídas u ovals, o escaleras de cualquier tipo, desde los humildes husillos ocultos en los contrafuertes de las catedrales hasta las escaleras imperiales de los palacios españoles. Y al contrario de lo que ocurre en Italia, la arquitectura pétreo es la arquitectura por excelencia del Renacimiento español y francés; de ahí la importancia

que concede Aranda a este saber.

En *Le premier livre de l'Architecture*, publicado en 1567, Philibert de L'Orme pretende mostrar la utilidad de esta técnica constructiva con un relato: un caballero ha heredado una mansión caótica y pretende renovarla a la moda de los tiempos, añadiendo los cuerpos necesarios para obtener una planta simétrica. De L'Orme va explicando con visible satisfacción cómo se superan los pies forzados que imponen las viejas construcciones por medio de arcos esviados o gabinetes volados sobre una trompa, como el que construyó en el castillo de Anet para uso de Enrique II durante sus frecuentes visitas a Diana de Poitiers [figura 1].

Sin embargo, la utilidad de estas piezas para resolver problemas de distribución sólo explica su empleo en parte. Más que un recurso para obtener espacio donde no lo hay, la minúscula cámara de Anet es un alarde teatral, una exhibición de conocimiento constructivo. Ochenta años más tarde, Fray Laurencio de San Nicolás lo admite sin disimulo en su *Arte y uso de Arquitectura*: «resultan dificultades, unas veces por pedirlo así la obra, otras por elegir una ventana por gala, como lo es elegirla en una esquina».

Por tanto, la extraordinaria importancia que se concede a este saber no se debe únicamente a su utilidad para resolver cuestiones prácticas; la traza de cantería goza de un enorme prestigio porque permite al arquitecto mostrar su destreza al afrontar difíciles problemas geométricos y diferenciarse del simple cantero. En el contrato firmado en 1597 con su aprendiz Pedro Pablo de Ordóñez, Martínez de Aranda se compromete a enseñarle al aprendiz el oficio de la cantería, pero «si quería adentrarse en el estudio de traza y arquitectura ansí mismo lo tengo de hacer». La distinción entre una cosa y otra no era meramente académica; unos años

antes, el alguacil de Alcalá la Real había denunciado ante el corregidor a Miguel de Bolívar, Juan Meléndez Vizcaíno y Pedro de Fraguagua, porque ejercían el oficio de cantero sin estar examinados. Los denunciados respondieron que lo suyo es un arte y no un oficio, y que por tanto no estaban obligados a rendir el examen que exigían las ordenanzas, lo que dio lugar a un pleito interminable ante la Chancillería de Granada. Pero lo más significativo del caso es que se procede contra Bolívar, miembro de una familia de canteros de larga tradición en la zona, y no consta que se haga lo mismo contra Ginés Martínez de Aranda, un recién llegado a Alcalá en aquellos años.

El episodio parece indicar que el estudio de traza y arquitectura es lo que permite a Martínez de Aranda escapar de la condición de artesano tardo-medieval, de *laborator*, de artífice mecánico, por medio de la ciencia, y en particular de la geometría. Esto es lo que explica, junto con el influjo de Juan de Herrera y la Academia de Matemáticas, la abundancia de referencias a la ciencia en los tratados o manuales españoles de arquitectura de fina-

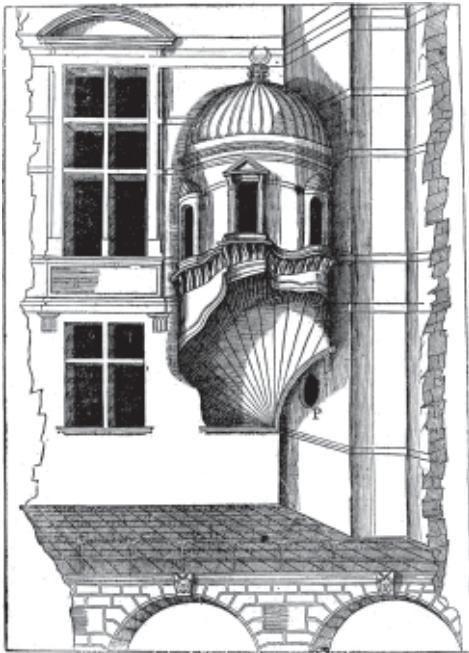


Figura 1. Gabinete en el château de Anet. Philibert de l'Orme, *Le premier tome de l'Architecture*, 1567.

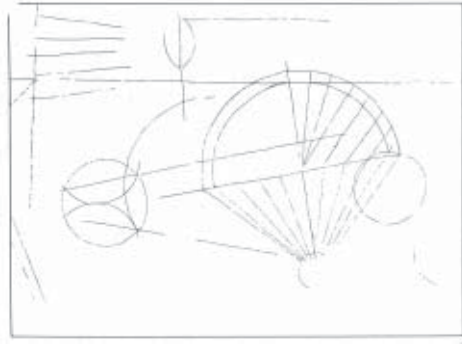


Figura 2. Trazado de una trompa en la sala de trazas de la Catedral de Sevilla, según Francisco Pinto y Alfonso Jiménez.

les del siglo XVI y principios del siglo XVII, como los de Cristóbal de Rojas, Fray Laurencio de San Nicolás, o Juan de Torija, que llega a tratar de «la arquitectura, dama hermosa científica». De esta manera, la consideración de la *traza de monte* como disciplina científica justifica su elevada posición dentro de los conocimientos que debe poseer el arquitecto. Llegados a este punto, es momento de examinar en qué consistía este estudio de traza, esta principal parte de la arquitectura.

TRAZA

Algunos detalles del manuscrito de Martínez de Aranda, como la construcción de paralelas mediante una perpendicular auxiliar llamada *juzgo*, hacen sospechar que estos trazados de piezas de cantería se realizaban a tamaño natural o a escalas muy grandes, sobre el suelo o la pared. Tan evidente resultaba esta idea para un cantero del siglo XVI que ningún tratado o manuscrito de cantería la expone abiertamente. Sólo en el siglo XVIII, cuando estas *monteas* van perdiendo terreno ante el empuje cada vez mayor del papel, Jean-Baptiste de La Rue se cree obligado a explicar que: «[...] para trazar las piedras, se traza de antemano una montea, que no es otra cosa que la planta de una bóveda trazada tan grande como la obra, sobre un área o superficie plana por medio de la cual, junto con los perfiles, se encuentran los arcos y cerchas necesarias, tanto en planta como en alzado, para

construir las plantillas de testa, de intradós, de lecho y de trasdós».

En ocasiones, estas *trazas* se realizan exactamente bajo el arco o bóveda que se pretende construir. En su *Libro de trazas de cortes de piedras*, Alonso de Vandelvira dice en el *corte* denominado *Arco avanzado a regla* [figura 3] que «la cimbría de debajo al arco debe estar echada en el suelo que es por do se han de aplomar las piedras, digo que después de echada a nivel las piedras se han de asentar a su plomo la cual se traza echando sus avances en sus plomos». En otros términos, durante la ejecución de la *montea* se ha de trazar en el suelo la proyección horizontal del arco, exactamente bajo el lugar que ha de ocupar el arco a construir. Después de obtener las plantillas, las piezas labradas se van colocando en su lugar y al mismo tiempo se va pasando la plomada por los vértices de las dovelas para comprobar que están sobre su posición teórica, gracias a la planta del arco trazada bajo el arco real. El método es de origen medieval; recuerda un párrafo del manuscrito atribuido a Rodrigo Gil de Hontañón, que explica cómo construir una bóveda de crucería con ayuda de una planta trazada en un andamio colocado bajo la bóveda.

Sin embargo, esta práctica debería ser de uso excepcional, puesto que no se han conservado trazados realizados exactamente bajo el arco o bóveda a construir, y conocemos la técnica únicamente a través de los manuscritos y tratados. En España e Inglaterra, era frecuente el empleo de *cuartos de la traza* en las fábricas importantes; se conocía desde hace tiempo la de la catedral de York y se ha encontrado hace algunos años la de la catedral de Sevilla [figura 2]; existen documentos que hacen referencia a las casas de la traza del Escorial y la catedral de Granada. Sin embargo, también se realizaba esta labor con frecuencia en lugares apartados de las fábricas, como tribunas, terrazas, coros o espacios bajo las escaleras.

El primer instrumento de estos trazados era la cuerda; un cordel tenso entre dos puntos da una recta, que se puede marcar con un trazador o con almagre; si se ata un extremo a un clavo, el otro cabo describe una circunferencia; fijándolo por sus dos extremos sin tensarla y tomando un punto inter-

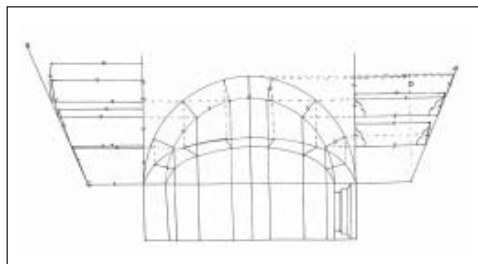


Figura 3. Arco avanzado a regla. Alonso de Vandelvira, *Libro de trazas de cortes de piedras*, 1567.



Figura 4. Arquitecto del rey Offa, manuscrito s. XII.

medio, podemos trazar una elipse. Si se precisa mayor exactitud, se pueden emplear otros útiles, comenzando por los que se usan en la labra de la piedra. Es evidente que la regla permite trazar rectas; no lo es tanto que con una barra horadada en los dos extremos se pueden construir círculos, fi-

jándola con un clavo por un extremo y pasando el trazador por el otro. La escuadra empleada en la labra, de dos brazos, permite construir perpendiculares; pero en el Renacimiento, buscando una mayor precisión, se recupera la escuadra de tres lados, de origen romano. También se emplea sobre todo en la traza el *compás de aparejador*, de dos brazos y uno o dos sectores, que en ocasiones llega hasta la cintura del trazador [figura 4].

Numerosos tratados y manuscritos de cantería citan el nombre de Euclides o se abren con los enunciados de varias proposiciones de los *Elementos*, por lo general pertenecientes a los dos primeros libros y presentadas sin demostración. Muchas veces estas proposiciones se generalizan, se particularizan o se alteran de otras formas, con la intención de mejorar la exactitud de estos trazados, como en las variantes que proponen Juan de Arfe o Cristóbal de Rojas a la proposición trigésimo primera del primer libro de los *Elementos*, que muestra la construcción de dos paralelas.

Sin embargo, esta búsqueda no siempre arroja resultados útiles. Parece que en ocasiones se utilizan las proposiciones euclidianas relativas a mediatrices y perpendiculares, aunque Philibert de L'Orme también ofrece otras soluciones para trazar ortogonales y Vandelvira expone la cuestión de forma un tanto confusa. Se explica de forma convincente la aplicación a la cantería del teorema de Tales y la construcción de un círculo conociendo tres puntos o método de los *tres puntos perdidos*. Sin embargo, en otros casos se abandonan los métodos euclidianos, como en el caso de la división de los arcos en dovelas; todo parece indicar que se resuelven por tanteos. Cuando mayor es el esfuerzo por adaptar los *Elementos* a las necesidades de la cantería, como en el caso de las paralelas [figura 6], más patente es el fracaso; la construcción modificada de Cristóbal de Rojas es tan inútil para su empleo en los trazados con cuerdas como la euclídea y Martínez de Aranda, muy próximo a Rojas, emplea el artificio de la perpendicular auxiliar o *juzgo*, o habla de *galgar* una línea, lo que equivale a trazarla con ayuda de dos perpendiculares sobre las que se aplica una galga.

Lo que ocurre en realidad es que la cantería ha aportado a la geometría mucho más de lo que ha

recibido de ella. Ha recibido algunas proposiciones aisladas, o más bien ha depurado sus propios métodos con ayuda de la geometría culta; a cambio el arte de los canteros ha dado a la ciencia las raíces de la Geometría Descriptiva e indirectamente, de parte de la Geometría Proyectiva. Lo que ahora llamamos sistema diédrico estaba en uso por los canteros tardomedievales, al menos desde la época del *Buchlein von der falen Gerechtikeit* de Mathes Roriczer, de finales del siglo XV. Los dibujos de este folleto muestran un sorprendente parecido con lo que hoy conocemos por *diédrico directo*: presentan la planta y el alzado de los pínáculos perfectamente correlacionados por líneas de referencia, pero no aparece en ningún momento la línea de tierra ni mucho menos las trazas de planos [figura 5]. Cien años después, el tratado de De L'Orme y los manuscritos de Vandelvira y Aranda emplean con soltura la planta, el alzado y el perfil,

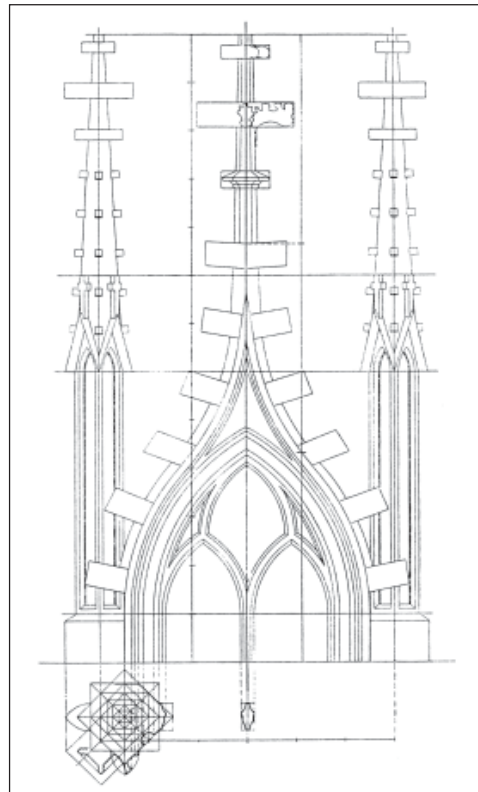


Figura 5. Trazado de un gablete. Mathes Roriczer, finales s. XV.

siempre unidos mediante líneas de referencia; obtienen las plantillas y *saltarreglas* que precisan para labrar las dovelas mediante abatimientos, giros y desarrollos; y distinguen entre superficies regladas desarrollables y alabeadas o *engauchidas*. Es cierto que a nuestros ojos, estos textos cometen ciertos errores o simplificaciones: trazan alzados mediante proyección oblicua o falsean las plantillas de lecho para regularizar la rosca de un arco abierto en un paramento curvo. En una osadía que Vandelvira rehuye, Martínez de Aranda intenta labrar caras alabeadas ayudándose de plantillas rígidas. Pero lo cierto es que todas estas libertades se explican por razones prácticas: los trazados oblicuos permiten simplificar las construcciones, las correcciones ópticas datan al menos de la época del Partenón, las plantillas de caras *engauchidas* dan la longitud de los cuatro lados de un cuadrilátero alabeado, aunque sea a costa de falsear la otra diagonal, y probablemente se empleaban haciendo bailar la plantilla alrededor de la diagonal correcta.

En *La théorie et la pratique de la coupe des pierres ... ou traité de stéréotomie*, el tratado clásico de la cantería dieciochesca, Amedée-Francois Frézier recoge todas estas prácticas peculiares del arte de la traza renacentista y barroco [figura 7], pero ve con cierta sospecha la disposición de los documentos gráficos en los trazados de los canteros:

La confusión que se encuentra en los dibujos de los libros que tratan del corte de las piedras, viene con frecuencia de la multiplicidad de clases de representación que se unen en la misma *traza*; porque en ocasiones se une la planta al perfil, a veces al alzado, y se mezclan unos y otros sin divisiones [...]

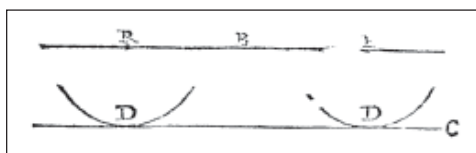


Figura 6. Trazado de paralelas. Cristóbal de Rojas, *Teórica y práctica de fortificación*, 1598.

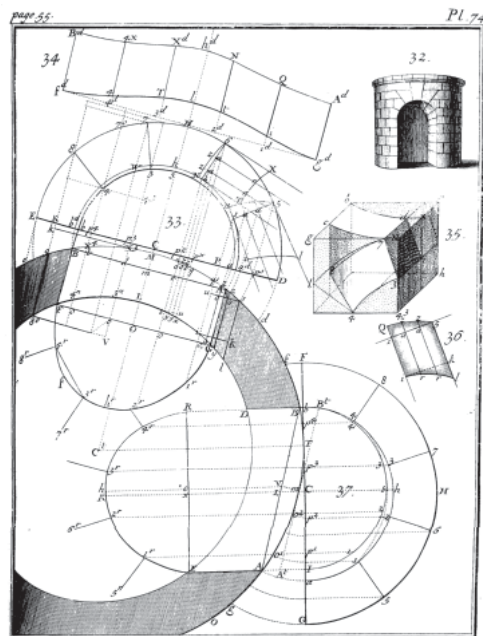


Figura 7. Arcos en paramentos curvos. Amedée-Louis Frézier, *Traité de stéréotomie*, 1737.

A veces los objetos verticales están invertidos, como si cayeran en lugar de elevarse; a veces están puestos de lado, cuando deben ser verticales [...]

La necesidad de unir varios objetos en una pequeña lámina hace esta confusión casi inevitable; por otra parte, es útil para indicar más sensiblemente las relaciones entre ellos. [...]

Aunque es más natural poner cada clase de dibujo por separado, es sin embargo cierto que esta simplicidad de objeto indica menos sensiblemente las relaciones de líneas, y que es más cómodo unir y en ocasiones entremezclar, las Plantas, Perfiles y Alzados.

Gaspard Monge, antiguo profesor de Teoría del Corte de las Piedras en la academia de ingenieros militares de Mezières, intentará poner fin a este desorden con una ilustrada operación de limpieza; reducirá a dos los planos de proyección, fijará su posición en el espacio, y hará de la intersección de los dos planos el eje de todo el sistema [figura 8].

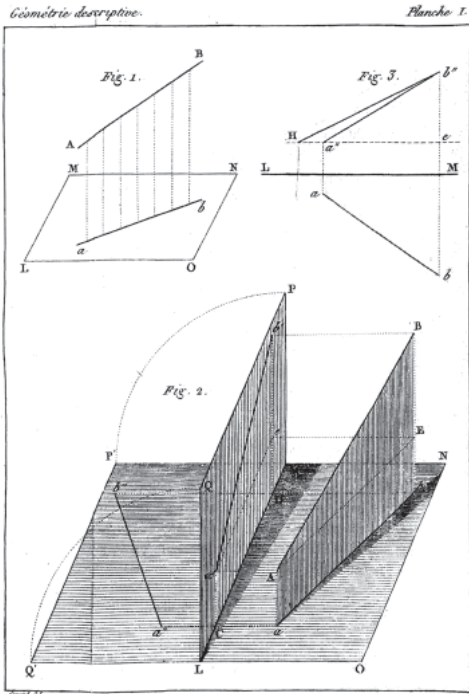


Figura 8. Elementos del sistema diédrico. Gaspard Monge, *Géométrie Descriptive*, 1799.

Gradualmente y no siempre sin polémica, Monge y sus discípulos llevarán a esta disciplina nueva y vieja, la Geometría Descriptiva, los métodos geométricos de los canteros: los abatimientos, los giros, el cambio de plano vertical. De esta manera, la práctica de los canteros medievales acabará poniendo las bases de un saber sin el cual no serían posibles ni la revolución industrial ni el mundo que conocemos.

LABRA

Todo lo anterior no debe hacernos olvidar que se traza para poder labrar. Los instrumentos de labra no sufren grandes variaciones desde la época románica hasta la Ilustración [figura 9]. El pico y el puntero se emplean para desbastar o labrar la piedra con un acabado tosco; la escoda, trinchante o tallante permite obtener una terminación más fina de los paramentos; los cinceles y gradinas de lama más o menos ancha se pueden emplear también en

la labra de caras, con ayuda de mazas y macetas, pero su empleo característico viene dado por la realización de tiradas o atacaduras que permiten comenzar la labra por las aristas de la pieza. En el siglo XVIII aparece la bujarda, un martillo con caras cubiertas por puntas de diamante, que poco a poco va arrinconando a la escoda. En el siglo XX entra en escena el aire comprimido, que se aplica mediante unas pequeñas bujardas conocidas en la jerga canteril como *bailarinas*, colocadas en el extremo de tubos de goma. Todavía es pronto para saber si el instrumento del siglo XXI, el cincel de nuestra época, va a ser la máquina de cinco ejes accionada por control numérico.

Incluso la labra de la pieza más sencilla, el sillar, presenta una cierta dificultad geométrica. Una vez desbastada la pieza, el cantero comienza realizando una tirada, empleando por ejemplo el cincel y la maceta, y comprobando su rectitud con ayuda de la regla. A continuación realiza una segunda tirada perpendicular a la anterior, empleando la escuadra, lo que le permite situar un tercer vértice de la cara del sillar. Es evidente que estos tres primeros vértices están en un mismo plano, pero situar el cuarto vértice en este plano no es tan fácil. Para materializar el tercer lado de la cara del sillar, el cantero ha de *desalabear* la cara, colocando una regla en la primera tirada y una segunda regla apoyada en el tercer vértice, hasta conseguir que sea paralela a la primera. Esta operación se realiza a simple vista haciendo que las dos reglas parezcan superponerse; la técnica recibe el nombre de *borneo* [figura 10]. Una vez ha marcado así un *trazo* sobre la cara del sillar sin desbastar, en ocasiones mediante una pluma de ganso bañada en almagre, el cantero puede guiarse por el trazo para realizar la tercera tirada de forma que sea coplanaria con las dos anteriores, y situar sobre esta tercera tirada el cuarto vértice. Unir el cuarto vértice y el primero mediante la cuarta tirada y cerrar el rectángulo que delimita la cara del sillar no presenta ninguna dificultad, puesto que las tres tiradas realizadas hasta ahora son coplanarias, y el primer y cuarto vértice han de estar en el plano que determinan las tres atacaduras.

Tras hacer esto, el cantero puede labrar la cara por medio de la escoda, dejándola caer verticalmente sobre la superficie de la piedra, aunque algunas

representaciones medievales parecen sugerir que se empleaba también de forma rasante a la superficie de la piedra. Modernamente la operación se realiza mediante la bujarda o la *bailarina*; esto permite reducir el tiempo de realización y graduar la finura del acabado en función del tamaño de las puntas de diamante de estos instrumentos. En cualquier caso, durante esta operación es esencial comprobar la planeidad de la cara con ayuda de la regla, apoyada en dos tiradas. Hasta ahora el cantero ha labrado una cara del sillar, pero por lo común es preciso labrar con precisión cinco caras: una vista, dos de junta, una de lecho y otra de sobrelecho; si la sexta cara queda oculta dentro de la fábrica, bastará con desbastarla. Las cuatro caras perpendiculares a la primera se pueden labrar realizando dos tiradas ortogonales a la primera cara y una cuarta tirada perpendicular a estas dos ataca-

duras. Entre estas cuatro tiradas se puede labrar la cara, comprobando su planeidad no sólo con ayuda de la regla, sino también de una escuadra apoyada en la primera cara; si es preciso labrar o desbastar la sexta cara, será necesario girar el sillar mediante palancas.

La labra de una dovela de un arco de medio punto, apuntado o escarzano, o de una bóveda de cañón, no presenta dificultades mucho mayores; será preciso contar con una plantilla de testa, que se marca sobre una cara labrada, por medio de almagre y pluma de ganso o de un trazador. Una vez hecho esto, se pueden materializar las caras de lecho de la dovela con ayuda de una escuadra, que también se puede emplear para labrar la superficie cilíndrica del intradós, puesto que sus generatrices serán perpendiculares al plano de testa. En cuanto al trasdós, por lo general el cantero se limitaba a desbastarlo, al menos en España.

Sin embargo, cualquier pieza más compleja que las anteriores, desde los arcos esviados a las bóvedas tóricas o la bóveda helicoidal conocida como *Vía de San Gil*, presenta dificultades de naturaleza muy diferente, puesto que las caras de intradós, trasdós y lecho no estarán formadas en general por generatrices perpendiculares a las testas, ni sus contornos serán rectangulares; por tanto, no bastará la escuadra para su control geométrico. Enfrentados a estos problemas, los canteros del Renacimiento pusieron en práctica dos métodos alternativos. En la labra *por robos* el cantero representa la pieza en planta y alzado y traza la envolvente de cada dovela, lo que le permite obtener las proyecciones ortogonales de las caras de la dovela y las del sólido capaz que la encierra. Hecho esto, el cantero labra de forma aproximada un bloque con las dimensiones de la envolvente, marca sobre él las proyecciones ortogonales de las caras, empleando plantillas si es preciso, y va materializando los planos o cilindros proyectantes con ayuda de la escuadra, hasta dar forma a las piezas [figura 11]. De ahí que en ocasiones se aluda al método como «labrar de cuadrado» o «par équarrissement»; a finales del siglo XVIII, perdida ya la gran tradición de la cantería española, Benito Bails traduce esta última locución como «por escuadría». Las aristas de la pieza aparecen en la intersección de dos de estos planos o cilindros proyectantes, de

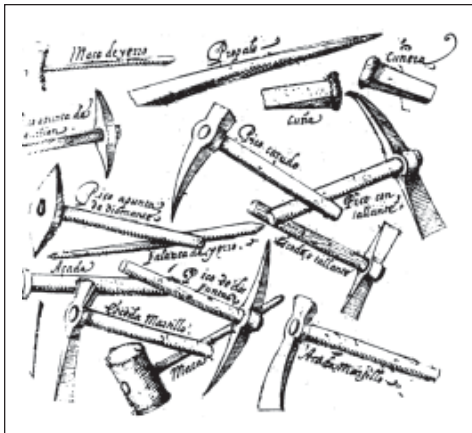


Figura 9. Instrumentos de labra. Juanelo Turriano o Pedro Juan de Lastanosa, *Los veinticuatro libros de los ingenios y las máquinas*, s. XVI.

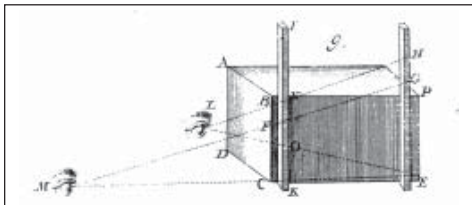


Figura 10. Desalabeo de un sillar. Amedée-Louis Frézier, *Traité de stéréotomie*, 1737.

una forma que resultó misteriosa hasta la Ilustración; en palabras de Frézier, se forman «por una especie de azar».

El método tiene como ventaja la sencillez de la traza, pero en muchos casos el volumen del sólido capaz es muy superior al de la dovela definitiva. Al tratar de los arcos oblicuos, Philibert de L'Orme dice: «Si quieres, puedes labrar estas puertas de cuadrado, [...] sin ayuda de plantillas [...] Pero así hay gran pérdida de piedras, lo que hace que los buenos maestros utilicen plantillas, que colocan

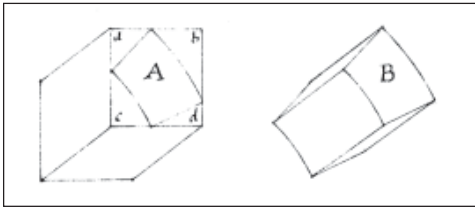


Figura 11. Labra por robos. Ginés Martínez de Aranda, *Cerramientos y trazas de monte*, c. 1600.

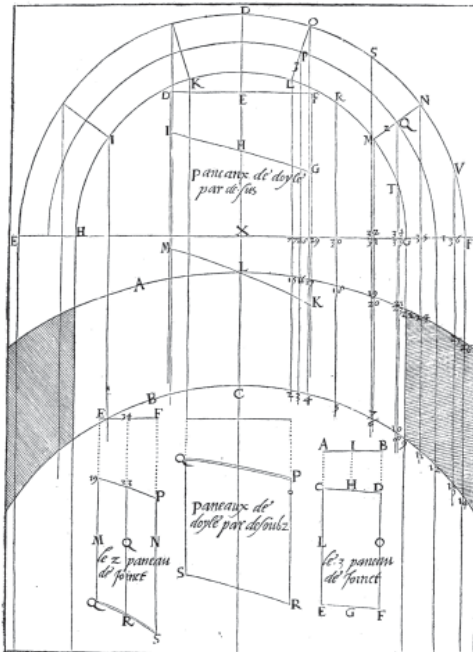


Figura 12. Arco en paramento curvo con sus plantillas. Philibert de l'Orme, *Le premier tome de l'Architecture*, 1567.

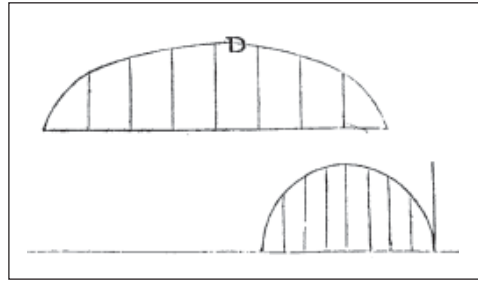


Figura 13. Construcción de la cercha. Philibert de l'Orme, *Le premier tome de l'Architecture*, 1567.

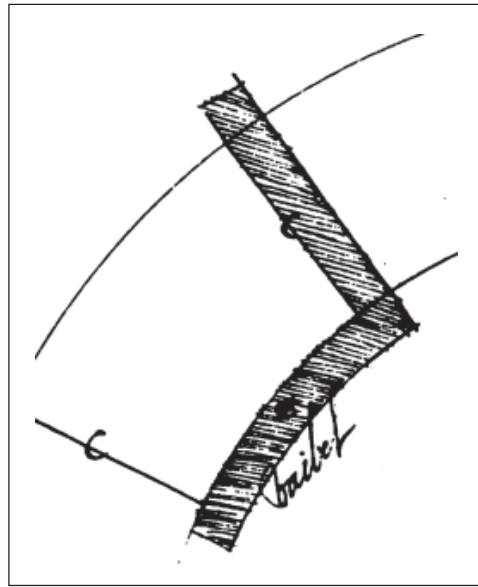


Figura 14. Baivel. Alonso de Vandelvira, *Libro de trazas de cortes de piedras*, 1567.

todo alrededor de las piedras [...] y labran sus piedras con el baivel». Para evitar esta «gran pérdida de piedras» los canteros del Renacimiento empleaban plantillas rígidas o flexibles de las caras de las dovelas, obtenidas en el trazado mediante abatimientos y desarrollos [figura 12]. En un ejemplo típico, expuesto también por Philibert, el cantero comienza labrando la cara de intradós y marcando sobre ella la *planta por cara* o plantilla de intradós. A continuación, va labrando simultáneamente una cara de testa y otra de lecho, comprobando en todo momento su contorno con las plantillas correspondientes, hasta que las dos *plantas* se en-

cuentran en la arista común a las caras de testa y lecho. Como advierte teatralmente el autor, es preciso realizar esta operación cuidadosamente, puesto que si el cantero labra una de las caras en exceso, la pieza quedará inservible. En cambio, si se realiza la pieza correctamente, el sólido capaz se ajustará mejor a la forma de la dovela que el empleado en la labra *por robos*, reduciendo así la «gran pérdida de piedras».

Nos hemos referido a una serie de instrumentos geométricos que tienen como misión trasladar a la piedra las formas definidas en el trazado. Los más elementales son la regla y la escuadra; ya hemos dicho que la escuadra empleada en la labra es de dos brazos, porque la de tres no permite comprobar la ortogonalidad de dos caras. Cuando se han de materializar curvas irregulares o alabeadas se emplea la *cercha*, una regla con un lado curvo [figura 13]. En muchas ocasiones se utiliza el *baivel*, que es una escuadra con uno o los dos lados curvos; Philibert de L'Orme expone el uso de un baivel ajustable, con una charnela en el ángulo, pero no hay referencias a este instrumento en los manuscritos y tratados españoles [figura 14]. En cambio, sí es de uso frecuente en España la *saltarregla*, una escuadra ajustable que se emplea como transportador de ángulos, hasta tal punto que el ángulo entre la junta de testa y la de intradós se conoce como *saltarregla* en los manuscritos de Vandelvira y Aranda [figura 15]. En el extremo superior de la escala tenemos las plantillas; como hemos visto, pueden ser rígidas, generalmente de madera, o flexibles, de papel, cartón, hierro dulce, estaño o cuero; por otra parte, pueden representar la cara en verdadera magnitud, y entonces se dice que se *plantan al justo*; o alternatively, pueden representar la proyección ortogonal de la cara sobre un plano vertical u horizontal, y entonces se *plantan de cuadrado*.

Todo esto nos dice que la distinción entre *robos* y *plantas* no es tan tajante como los tratados y manuscritos parecen indicar; en realidad tiene únicamente una finalidad didáctica. Ya hemos dicho que la labra «por robos» no excluye el uso de plantillas; Martínez de Aranda expone varios métodos de labra que emplean simultáneamente la escuadría y las plantillas, o la escuadría y las *saltarreglas*; más adelante, Frézier y su émulo Bails ha-

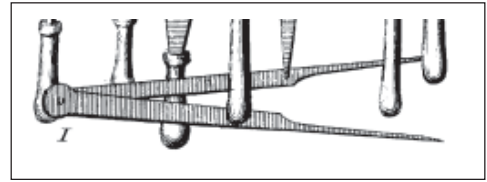


Figura 15. Saltarregla. Amedée-Louis Frézier, *Traité de stéréotomie*, 1737.

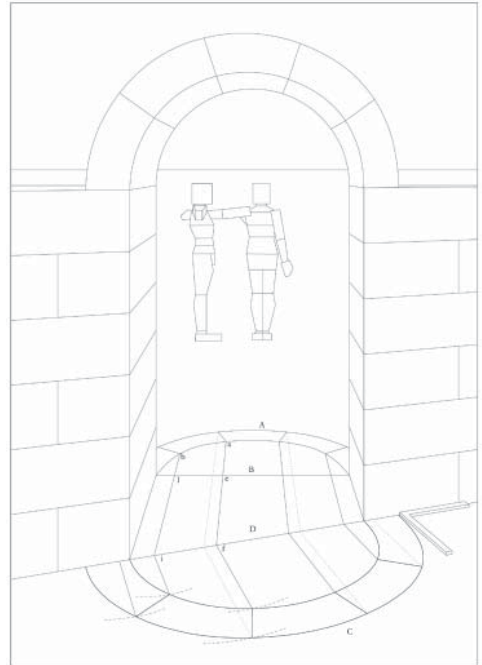


Figura 16. Trazado de las testas del Arco viaje por testa.

blan de la «media escuadría», que combina los *robos* con el baivel. Por otra parte, conviene tener en cuenta que cerchas, saltarreglas y baiveles son en realidad plantillas incompletas, que se realizan no sólo por ahorro frente a las plantillas, sino también para facilitar la labra. En el ejemplo de labra por plantillas expuesto anteriormente, el encuentro entre las plantillas de testa y lecho es engorroso; más fácil es realizar la labra contando con una plantilla de testa y una saltarregla; por decirlo en palabras de Fray Laurencio de San Nicolás: «haz reglas cerchas, según A Y N para la parte de adentro, y otra regla cercha según B O M o plantillas enteras, que lo mismo es lo uno que lo otro».

ARCOS

El manuscrito de Martínez de Aranda comienza su exposición por un arco que cubre un vano con planta de trapecio, de tal manera que una testa es oblicua a la otra y las dos jambas, que a su vez son paralelas entre sí. El problema se resuelve trazando la planta del arco, disponiendo un arco de medio punto en la testa perpendicular a las jambas y llevándolo a la otra testa mediante juntas de intradós que siguen la dirección de las impostas; estas juntas generan la superficie de intradós, que será un cilindro circular. Dado que las juntas son horizontales, la flecha será igual en las dos testas; ahora bien, al ser oblicua la otra testa, la cuerda del arco será mayor, pues no corresponde a la mínima distancia entre las dos impostas. Como consecuencia, la embocadura correspondiente a la testa oblicua será una semielipse rebajada, que se puede trazar con facilidad levantando perpendiculares a la testa y llevando sobre ellas las alturas de cada junta de intradós [figura 16].

Para obtener plantillas de intradós rígidas de las dovelas del arco, Aranda propone hacerlas girar alrededor de la junta de intradós inferior de cada dovela, realizando una operación que ahora llamamos abatimiento. En este caso resulta bien sencilla, porque la junta de intradós inferior, que es el eje o charnela del abatimiento no se desplazará; por tanto, dos vértices de la plantilla quedarán fijos en su posición inicial. El tercer vértice corresponde al encuentro de la junta de intradós superior con la testa recta, y se desplazará en el plano de la testa, que es perpendicular a la charnela del abatimiento; además, este plano se representa en verdadera magnitud en el trazado, lo que permite situar con facilidad el tercer vértice de la plantilla y la junta de intradós abatida, que es paralela al eje del abatimiento y lo sigue siendo después del giro. Falta por situar el cuarto vértice de la plantilla de intradós, pero es sencillo hacerlo teniendo en cuenta, de nuevo, que se desplaza en un plano a la charnela; bastará trazar una perpendicular al eje por su posición original y hallar su encuentro con la junta de intradós superior para cerrar el contorno de la plantilla [figura 17]. Mediante un proceso similar podremos obtener las plantillas de lecho, teniendo en cuenta que no quedan delimitadas por dos juntas de intradós, sino por una junta de intra-

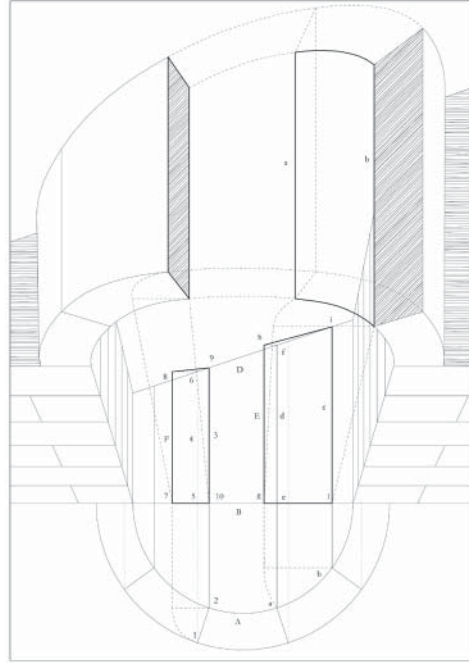


Figura 17. Trazado de las plantillas del Arco viaje por testa.



Figura 18. Arco esviado monolítico en la capilla de la Resurrección de la catedral de Valencia.

dós y otra de trasdós. Así dispondremos para cada dovela de una plantilla de intradós, dos de lecho y dos de testa, que podremos tomar directamente del trazado; todo esto nos permite labrar la dovela *por plantas* sin ninguna dificultad.

Prácticamente todos los tratados y manuscritos de cantería incluyen soluciones para los arcos esvia-



Figura 19. Clave del Arco de Santo Domingo en Murcia.

dos, es decir, aquellos en los que las jambas son paralelas entre sí y oblicuas a las testas, a su vez paralelas entre sí. El problema se puede resolver disponiendo en el intradós un cilindro circular con eje perpendicular a las testas, pero en tal caso la intersección de este cilindro con los planos verticales oblicuos dará lugar a sendas elipses, y los arcos de embocadura serán rebajados. Para evitar esto, se puede disponer un arco de embocadura circular y proyectarlo oblicuamente en la dirección de las jambas; el resultado será una superficie de intradós con forma de cilindro peraltado [figura 18]. En los dos casos, la solución clásica del problema estereotómico pasa por abatir las plantillas de intradós y de lecho tomando la junta de intradós como charnela, para labrar la dovela *por plantas*. Ahora bien, la solución no es plenamente satisfactoria desde el punto de vista estático, puesto que los esfuerzos horizontales no se compensan por completo y se produce un cierto *empuje al vacío*; si el esviaje es fuerte, este fenómeno puede hacer deslizar a las dovelas y formar lo que Martínez de Aranda llama gráficamente *garrote*. Para impedirlo, se puede adoptar otra solución, conocida como *biais passé* o *paso oblicuo*, que se basa en disponer los planos de lecho formando un haz que tiene por recta común una perpendicular a las testas [figura 19]. Ahora bien, las intersecciones de estos planos con los arcos de testa dan lugar a parejas de puntos que determinan una serie de juntas de intradós que ya no son paralelas, sino que se cruzan en el espacio. Por tanto, las dos juntas de intradós y las dos cuerdas de los tramos de arco correspondientes a cada dovela formarán un cuadrilátero alabeado, y la solución más habitual del

problema pasa por labrar las dovelas *por robos* con ayuda de una saltarregla. Esto no impide a Martínez de Aranda y Frézier proponer la labra de estas piezas mediante las plantillas alabeadas a las que nos hemos referido más arriba.

Cuando una de las jambas es oblicua a la otra y a las dos testas, el problema se aborda casi siempre mediante un haz de planos de lecho con eje perpendicular a las testas; esto da lugar a una superficie de intradós alabeada, conocida como *cuerno de vaca*. Vandelvira ofrece una alternativa basada en dividir ambas testas en partes iguales, lo que da lugar a un cono oblicuo perfectamente desarrollable que se puede labrar por plantas. El problema que presenta esta solución no es tanto el *empuje al vacío*, que aquí es prácticamente despreciable, sino la dificultad del abatimiento, puesto que aquí las juntas de intradós no son horizontales; Vandelvira lo resuelve con elegancia por triangulación. Por último, si ambas jambas son oblicuas a las testas, pero no paralelas entre sí, sino simétricas, tenemos el *arco abocinado*, de intradós cónico, que se resuelve por abatimientos y se labra *por plantas* con gran sencillez gracias a su simetría radial; lo



Figura 20. Arco abocinado en Ciudad Rodrigo.

mismo se puede decir de la más simple de las *tro-neras* de Alonso de Vandelvira, que en realidad equivale a la unión de dos arcos abocinados, uno de ellos invertido [figura 20].

También se puede considerar como una variante del arco esviado el *Arco por esquina y rincón*, es decir, el abierto en el encuentro de dos paramentos [figura 21]. Casi siempre se aborda proyectando sobre ambos paramentos un arco de medio punto dispuesto en un plano perpendicular al bisector de los dos muros; las proyecciones serán dos semielipses rebajadas por cada cara del muro. Por lo común las plantillas se obtienen por abatimiento alrededor de las juntas de intradós y nadie recurre a otras soluciones para evitar el *empuje al vacío*, que aquí es muy preocupante, porque los empujes en clave quedan sin compensar.

Casi todos los tratados y manuscritos recogen los arcos abiertos en paramentos curvos, que reciben los nombres característicos de *arco en torre redonda* o *convexa*, y *arco en torre cavada* o *cónca-*



Figura 21. Arco en esquina y rincón en Trujillo.



Figura 22. Arcos en torre cavada en los Molinos Nuevos de Murcia.

va [figura 22]. Como es natural, son más frecuentes los muros con ambos paramentos curvos, lo que da lugar al *arco en torre cavada y redonda*. Los tres casos se resuelven, una vez más, por abatimientos alrededor de la junta de intradós, pero aquí aparece una corrección característica: para evitar que el arco de medio punto proyectado sobre los paramentos sea más ancho en las impostas que en la clave, a veces se recortan las plantillas de lecho para igualar sus anchos. De todas formas, el arco más frecuente en este grupo es el *arco abocinado en torre redonda y cavada*: en los tambores de las cúpulas o en las grandes rotondas de Granada, Cádiz o Loyola las jambas se trazan radialmente [figura 23]. En principio, el problema se puede resolver mediante una superficie de intradós cónica, pero no es exactamente ésta la solución que adoptan los manuscritos y tratados, que por lo general proyectan arcos de medio punto sobre los paramentos por proyección cilíndrica, lo que da lugar a un ligero alabeo de la superficie de intradós que se desprecia casi siempre.

Si en lugar del paramento curvo pretendemos abrir el hueco en una bóveda de cañón, caben dos soluciones. La primera, muy empleada en las bóvedas de albañilería del Renacimiento italiano e incluso en el siglo XVI español, pasa por cortar la bóveda de cañón por dos planos verticales oblicuos al eje de la bóveda, lo que dará lugar a dos elipses que se encuentran en ángulo; el recinto entre las dos elipses se cubre con superficies regladas, en general alabeadas, que pasan por un arco de medio punto y por una de las elipses [figura 24]. Es decir, una curva de intersección sencilla da lugar a una superficie de intradós compleja. Por lo general, el



Figura 23. Arco abocinado en torre cavada en el tambor de la cúpula de la basílica del Escorial.

punto de unión entre las dos elipses está por encima de la clave del arco de medio punto, y la solución recibe a veces el expresivo nombre de *luneta apuntada* y *capialzada*. El método es especialmente apropiado para la construcción en ladrillo; es frecuente levantar la bóveda completa y después perforar el triángulo cilíndrico entre los dos arcos de elipse. La solución no es tan indicada en las fábricas pétreas, a causa del alabeo de la superficie de intradós. Quizá por esto no aparece en los manuscritos españoles del siglo XVI, aunque se emplea con gran frecuencia en la práctica; hay que esperar al manuscrito de Juan de Portor y Castro, ya de principios del siglo XVIII, para encontrarla en la literatura canteril. En cambio, la solución que recogen los textos de Vandelvira y Aranda es la denominada *Arco avanzado en bóveda*, o en *cercha*, que viene dada por el encuentro de la bóveda de cañón con un cilindro de radio menor; la curva de intersección será alabeada, y más tarde recibe el nombre de *luneto cilíndrico* en los textos de Geometría Descriptiva. Por tanto, aquí la solución se invierte y una superficie de intradós sencilla da lugar a una curva de intersección compleja. Si se

reparte el dovelaje de la bóveda de cañón y el *arco avanzado* en partes iguales, las juntas de bóveda y arco no se encontrarán, por lo que se recurre a mostrar la testa del arco en el intradós de la bóveda; Pérouse de Montclos da a esta solución el nombre de *pénétration extradossée*. Una solución alternativa, que aparece ya en el zaguán occidental del Palacio de Carlos V en Granada, hacia 1600, y después llega ser canónica en Francia, pasa por falsear las juntas de intradós de la bóveda para hacerlas coincidir con las del arco en la curva de intersección, de tal manera que no es necesario mostrar en el intradós del luneto la testa de la bóveda, sino que el encuentro se resuelve mediante dovelas acodadas que forman parte tanto de la bóveda como del arco, solución que recibe el nombre de *pénétration filée* en el texto de Pérouse [figura 25]. En cuanto al trazado, se emplea un perfil para hallar el encuentro de las juntas de intradós del luneto con la bóveda y trazar la curva de intersección por puntos; hecho esto, se obtienen las plantillas de intradós y lecho del luneto por abatimiento.

Si en lugar de una bóveda de cañón tenemos un plano inclinado, el resultado será un *Arco avanzado en talud*, que puede ser *escarpado*, o lo que es lo mismo, abierto en el frente de un talud como los que abundan en las construcciones militares, o *plano*, es decir, abierto en el trasdós de uno de estos taludes. En principio la función defensiva no aconseja la apertura de huecos, por lo que no se trata de un tipo de uso frecuente, aunque pueden encontrarse en la fortificación dieciochesca de Palma de Mallorca, Cádiz y Cartagena [figura 26]; quizá por eso Alonso de Vandelvira expone única-



Figura 24. Luneto apuntado y capialzado en el acceso al Patio de los Reyes de El Escorial.



Figura 25. Bóveda de lunetos en el zaguán occidental del Palacio de Carlos V en Granada.

mente el abierto en el trasdós, con el nombre de *Arco avanzado a regla*. El problema geométrico es, claro está, el de un cilindro cortado por un plano oblicuo al eje, lo que en principio da lugar a una elipse como arco de embocadura. La solución clásica no encuentra más dificultades que el *Arco avanzado en bóveda*: hallar el encuentro de las juntas de intradós con el talud mediante un perfil y abatir las plantillas de intradós y lecho. Sin embargo, Frézier busca obtener una embocadura circular, lo que le lleva a abatir el plano del talud y trazar sobre él la embocadura circular; el resultado será un cañón rebajado como superficie de intradós.

Dentro de los arcos abiertos en superficies curvas, quedan los arcos abiertos en cúpulas esféricas [figura 27], para Martínez de Aranda *Arco en vuelta de horno*; lo resuelve considerando que las secciones de la cúpula por planos verticales paralelos son iguales. En realidad no está abriendo un arco en una esfera, sino en la superficie de traslación generada por una semicircunferencia al desplazarse manteniendo un extremo en otro arco de circunferencia que actúa como directriz; si el hueco que se pretende abrir es pequeño en relación con la cúpula, la diferencia será inapreciable. Otro arco curioso es el denominado *Arco en vuelta de horno por la cara*; en este caso no se trata de abrir un arco en una superficie esférica, sino de construir un arco de intradós esférico. La pieza se podría resolver sin más que aplicar una cercha al intradós de las dovelas de un arco abocinado, como se hace en el *Capialzado de San Antonio*, que veremos más adelante. Sin embargo, Aranda obtiene las plantillas



Figura 26. Arco en talud en el castillo de Galeras de Cartagena.

de intradós y lecho, por un procedimiento que saca partido de la simetría radial de la pieza, como en el arco abocinado, y al mismo tiempo anuncia las bóvedas esféricas.

TROMPAS, DECENDAS DE CAVA Y CAPIALZADOS

Varias familias de piezas se relacionan con los ar-



Figura 27. Arco en vuelta de horno en la cúpula de la catedral de Granada.



Figura 28. Trompa en el Convento de Predicadores de Valencia, hoy Capitanía General.



Figura 29. Decenda de cava en el patio del Palacio de Carlos V en Granada.

cos de una manera u otra. En primer lugar tenemos las trompas, o *pechinas* para Vandelvira, que en realidad son arcos abocinados en los que el intradós se ha prolongado hasta llegar al vértice del cono que lo define, y que por tanto tienen una sola testa. El tipo básico se resuelve con sencillez abatiendo la cara de intradós de la primera dovela alrededor de la imposta y aprovechando una vez más la simetría radial de la pieza [figura 28]. Otras variantes dan lugar a una testa elíptica, como la *Pechina en viaje*, o se abren en un paramento convexo, como la pieza llamada *Trompa de Montpellier*, probablemente por referencia a las del Hôtel de Chirac o el Hôtel de Sarret de esa ciudad; el problema de esta última se relaciona con el *Arco abocinado en torre redonda*, pero aquí no se produce el ligero alabeo de la cara al que nos hemos referido, dado que todas las plantillas de intradós vienen definidas por dos rectas que se encuentran en el vértice del cono.

También se relacionan con los arcos las *Decendas de cava*, es decir, bóvedas de cañón de eje inclinado [figura 29]. La solución que propone Vandelvira, basada en triangulaciones, deriva de la empleada en los arcos oblicuos, y permite resolver no sólo la *decenda de cava* básica, una bóveda de cañón de eje inclinado, sino también la variante esviada, la *decenda de cava en rincón y esquina*, es decir, la que perfora la unión de dos muros, las abiertas en paramentos curvos, o incluso la de jambas curvas, que recibe el nombre característico de *decenda de cava que guarda por lechos torre cavada y redonda*.

Los capialzados en sentido estricto son piezas formadas en general por una superficie reglada que apoya en un dintel dispuesto en una de las testas y por un arco colocado en la otra. La pieza básica es el *Capialzado desquijado*, que pasa por un dintel horizontal y un arco con las impostas a la altura del dintel [figura 30]. Como complicación adicional, por lo general el arco es de luz algo mayor que el dintel, lo que da lugar a que las jambas sean convergentes; de ahí el curioso término *desquijado*, que tiene la misma raíz que *quijada* y el sentido de *abierto*. La superficie de intradós es alabeada; esto lleva a Vandelvira a afirmar con prudencia que «Los capialzados todos son por robos que aunque están aquí en los demás las plantas saca-

das sólo sirven para que por ellas se saquen las saltarreglas». Es decir, construye la plantilla de una superficie alabeada únicamente como procedimiento auxiliar, para obtener a partir de ella la *saltarregla* que le permite mejorar la precisión de la labra *por robos*. En cambio, Martínez de Aranda y Portor sí que van a intentar labrar estas piezas *por plantas*, intentando construir plantillas de lecho y de intradós que corresponden a cuadriláteros y hasta pentágonos alabeados, pues además de las complicaciones a las que nos hemos referido hay que tener en cuenta el *batiente*, o faja del dintel que recibe el marco de la puerta o ventana.

Otras variantes de esta pieza son el *Capialzado de Montpellier*, en el que el dintel está al nivel de la clave del arco, y el *Capialzado de San Antonio*, de intradós curvo [figura 31]. El *capialzado de Montpellier* presenta en esencia los mismos problemas que el *Capialzado desquijado*, y Aranda también aborda su labra mediante plantillas, repleta de dificultades. En cambio, el *Capialzado de San Antonio* se resuelve sin más que aplicar cerchas en las caras de lecho de las dovelas, después de labradas, para rebajar o *cavar* la superficie de intradós; claro está que las dificultades han venido antes, al labrar una dovela similar a las del *Capialzado desquijado*.

Hemos dicho que en los capialzados propiamente dichos una de las testas se resuelve con un arco y la otra con un dintel. Sin embargo, dos piezas ensanchan esta definición por los dos extremos. El *Capialzado a regla* pasa por dos dinteles a distintos niveles, por lo que la superficie de intradós será



Figura 30. Capialzado desquijado cuadrado en el segundo cuerpo de la torre de la Catedral de Murcia.



Figura 31. Capialzado de San Antonio en el Monasterio de El Escorial.



Figura 32. Capialzado a regla monolítico en el Palacio de Carlos V de Granada.

un plano, y la obtención de las plantillas de intradós no presentará ninguna dificultad, pues bastará abatir alrededor de la arista que separa el intradós del batiente [figura 32]. En cambio, la variante de esta pieza con una testa oblicua presenta un problema curioso: si hacemos pasar el intradós por dos dinteles horizontales pero no paralelos, el resultado no será un plano, sino una superficie reglada, en general alabeada. Por lo general el alabeo es imperceptible y se puede ignorar en la práctica, pero Martínez de Aranda aporta una solución alternativa llena de lógica geométrica: hace pasar un plano inclinado por el dintel inferior, pero la intersección de este plano con otro vertical oblicuo al dintel inferior será una recta inclinada, que Aranda toma como dintel superior. Si el razonamiento geométrico es irrefutable, la solución formal es sorprendente; se diría que corresponde a

las últimas décadas del siglo XX y no a las primeras del XVII.

Por el contrario, otros capialzados tienen por directrices de la superficie de intradós dos arcos [figura 33]. En el *Arco capialzado* de Martínez de Aranda, las testas vienen dadas por un arco rebajado y otro de medio punto, con las impostas al mismo nivel; en el *Arco capialzado hacia la menor subida* la solución se invierte, como en el *Capialzado de Montpellier*, y las claves de los dos arcos quedan al mismo nivel. Tanto en un caso como en otro, Aranda ofrece una sencilla solución *por robos*, pero también expone la labra por plantillas; dado que en ambos casos el intradós del capialzado es alabeado, se encuentra con las mismas dificultades que aparecen en el *Capialzado desquijado cuadrado*.

Más adelante, el *Arco capialzado hacia la menor subida* toma el nombre de *Capialzado de Marsella* en la tradición francesa; paulatinamente se va dando mayor importancia al encuentro de la superficie de intradós con las jambas, y en los textos de estereotomía del siglo XIX se intenta resolver el problema mediante una segunda superficie que tiene por directrices el arco rebajado y la jamba, imponiendo además la condición de tangencia entre esta superficie y el capialzado propiamente dicho. Se desconoce si alguien intentó llevar a la práctica esta solución; de existir, sería imposible distinguir estos capialzados resueltos con tanta perfección geométrica de los tradicionales. Parece claro que una construcción tan elaborada no



Figura 33. Capialzado de dos escarzanos en Ciudad Rodrigo.



Figura 34. Caracol de Mallorca en el Castillo de Galeras de Cartagena.

pretende resolver un problema práctico, sino ilustrar el resultado de Hachette según el cual si dos regladas alabeadas que se cortan según una generatriz común admiten el mismo plano tangente en tres puntos de la generatriz, entonces son tangentes a lo largo de toda la línea de intersección. Por este motivo, el *Capialzado de Marsella* es, junto con el paso oblicuo, la única pieza de la cantería clásica se repite en buen número de manuales de Geometría Descriptiva; pero no como ilustración del teorema, cosa que sería perfectamente lógica, sino como pretendida aplicación de la disciplina a la construcción pétreo, lo que resulta mucho más discutible.

ESCALERAS Y CARACOLES

Los manuscritos españoles de cantería distinguen entre escaleras y *caracoles*. Entre estos, el más simple es el *Caracol de husillo*, una maravilla del funcionalismo gótico: una sola pieza resuelve la pisa, la tabica, el machón central, la entrega en la caja, e incluso el andamiaje, pues los asentadores suben por ella mientras van colocando los peldaños y los sillares de la caja. En su versión más elemental, se trata simplemente de un bloque con planta de sector circular, rematado por un tramo de machón en un extremo y por un fragmento de la caja en el otro. El inconveniente de esta disposición es que los que suben pueden darse cabezazos contra la arista inferior de la pieza; para evitarlo, por lo general se rebaja el intradós, dándole forma de helicoide de plano director, excepto en la franja que apoya sobre el peldaño inferior. El alabeo de esta superficie no dificulta la labra, que se puede realizar con ayuda de una regla que se va apoyan-

do en una hélice; a efectos prácticos, el tramo de hélice correspondiente a un peldaño se asimila a un arco de circunferencia materializado por una cercha. Una variante virtuosa del *Caracol de husillo* es el *Caracol de Mallorca*, probablemente llamado así por referencia las escaleras de los torreones de ángulo de la Lonja de Mallorca, iniciada por Guillem Sagrera en 1426. Aquí, el tramo de machón correspondiente a cada peldaño no se dispone en el encuentro de dos radios, sino algo antes; como consecuencia, el machón es de directriz helicoidal y la escalera cuenta con un modesto ojo central [figura 34].

Sin embargo, la cima clásica del virtuosismo canteril es la *Vía de San Gil* o *Vis de Saint Gilles*, que tiene por arquetipo un espléndido ejemplar, de fecha muy discutida, en la abadía de Saint Gilles, en Languedoc. Abandonado el monasterio a raíz de las guerras de religión, la escalera se convirtió en un foco de primer orden del *Tour de France*, la peregrinación ritual que realizaban los aspirantes a cantero, como dejan de manifiesto los graffiti barrocos incisos sobre la caja. Más adelante, el prestigio de la pieza le permitió escapar de la destrucción de la iglesia abacial durante la Revolución; hoy el caracol se alza solitario entre un montón de ruinas como homenaje a los pedreros desconocidos que lo levantaron. La fama de la pieza es más que merecida: se trata de una bóveda anular, como la del patio del Palacio de Carlos V en Granada, pero con la dificultad añadida de la pendiente. La sección curva resuelve el despiece y evita que las piezas de piedra trabajen a flexión. Tanto Vandelvira como Aranda admiten claramente que la resuelven *por robos*, aunque empleen también plantillas [figura 35]. En cambio, Philibert presume de conocer la solución no ya por plantillas, sino por baiveles; pero si se examina su texto con detenimiento, en realidad la base de su método es la escuadría, aunque emplee profusión de plantillas y baiveles.

En cuanto a las escaleras propiamente dichas, el tipo más extendido es la *escalera aduclida en cercha*, a veces conocida entre los historiadores como *claustral* [figura 36]. Se resuelve mediante varias zancas, usualmente tres, de directriz curva. Muchas veces el problema se aborda disponiendo los lechos perpendicularmente al muro de la caja; sin

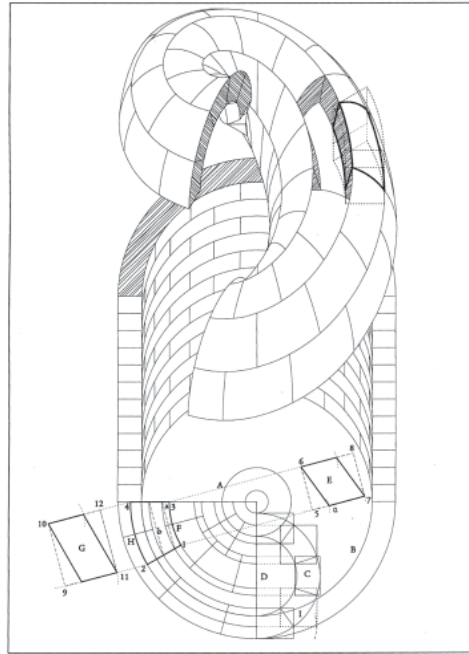


Figura 35. Esquema de trazado y labra de la *Vía de San Gil*.



Figura 36. Escalera aduclida en cercha del Colegio de Santo Domingo en Orihuela.

embargo, Vandelvira ofrece una solución con en la que las juntas de intradós se disponen en planos verticales paralelos a los muros, que se llevó a la práctica en la Chancillería de Granada, como el propio autor señala. Siguiendo las explicaciones de Vandelvira, cada una de estas juntas de intradós ha de tener una curvatura diferente, con objeto de rigidizar la zanca y conseguir que las hiladas

interiores, más alejadas de la caja, apoyen sobre las exteriores. Trazada así la escalera, Vandelvira advierte que «porque los rincones no van engauchidos sino a borneo, se labran por plantas, mas salido de los dichos rincones porque van los arcos engauchidos se han de trazar sus piedras por robos». Es decir, las mesetas de los rincones serán planas, mientras que las zancas que van de unas a otras mesetas materializan una superficie *engauchida* o alabeada. Es curioso comprobar que no es ésta la solución adoptada en la Chancillería granadina, donde no existe solución de continuidad entre zanca y meseta; bien es verdad que el propio Vandelvira admite que no conoce en todos sus detalles la escalera granadina.

Una variante virtuosa de esta pieza es la *Escalera en regla adulcida*, presente en el manuscrito de Alonso de Vandelvira y materializada después por Miguel de Zumárraga en una escalera secundaria en la Lonja sevillana, poco después del abandono de la dirección de las obras por el propio Vandelvira. Al contrario de lo que ocurre en la *Escalera adulcida en cercha*, aquí las juntas de intradós se disponen en planos verticales perpendiculares al muro de la caja, y el borde libre de la zanca es recto. Ahora bien, este borde no se dispone paralelo al de entrega en el muro, sino que se le da mayor pendiente. Con esto se consiguen dos objetivos: por una parte, se resuelve el problema causado por el borde libre de la zanca, que describe un recorrido más corto que el de encuentro con la caja; para conseguir que ambos bordes suban al mismo tiempo, el extremo libre ha de presentar mayor pendiente. Por otra parte, así se consigue que la zanca no sea plana, lo que le da mayor rigi-

dez. De hecho, el intradós de la zanca viene dado por la superficie generada por una serie de juntas de intradós contenidas en planos verticales paralelos entre sí, ya que son perpendiculares al muro de la caja; y además se impone la condición de que estas juntas de intradós han de pasar por los bordes interior y exterior de la zanca, que son dos rectas que se cruzan. Por tanto, en esta singular escalera sevillana encontramos una porción de paraboloides hiperbólicos, muy anterior a la aparición de esta superficie en los manuales de Geometría Descriptiva.

BÓVEDAS

Aunque los tratados y manuscritos otorgan una importancia considerable a todas estas familias de piezas de cantería, el lugar central lo ocupan casi siempre las bóvedas. En los manuscritos renacentistas, e incluso en los barrocos, encontramos no sólo el repertorio de la arquitectura clásica, sino también las bóvedas de crucería de tradición gótica. Estas piezas se construyen comenzando con un armazón de arcos, casi siempre de piedra cuidadosamente labrada; los perpiaños y formeros ocupan los planos verticales del perímetro de la bóveda, y son por lo general apuntados; en cambio los ojivos se alzan sobre las diagonales de la planta cubierta por la bóveda y son muchas veces arcos de medio punto. Sobre esta red lineal se dispone la plementería, que en general se labra de una forma más descuidada o se resuelve con cascos de ladrillo [figura 37]. Si se emplean sopandas rectas para apoyar estos sillarejos, los plementos toman la forma de superficies regladas, aunque en ocasiones se emplean cerchas. Es muy significativo comprobar que la labor de traza que requiere este método es mínima, dado que todas las dovelas son las de un arco de medio punto; en realidad el arco apuntado está formado por dos ramas de arco de medio punto y su clave se resuelve mediante dos dovelas ordinarias cortadas al vies. Por tanto, bastaría con marcar sobre el área a cubrir los ejes de los arcos para apoyar los puntales y comprobar con la plomada la correcta colocación de cerchas y dovelas. Por otra parte, la flexibilidad del sistema permite resolver no sólo plantas cuadradas o rectangulares, sino los trapecios de las girolas, los semidecágonos de las capillas ma-



Figura 37. Bóvedas de crucería en el Convento de Predicadores de Valencia, hoy Capitanía General.

yores, o los octógonos y triángulos de las salas capitulares.

En el gótico tardío este esquema se enriquece con otras nervaduras, como son los terceletes, ligaduras y combados, hasta llegar a las complejas bóvedas estrelladas del Renacimiento español. Llegados a este punto, es necesario controlar los radios de curvatura de todo este bosque de arcos, pues de lo contrario no se encontrarán en las claves secundarias. Para hacerlo no se emplean alzados propiamente dichas, sino construcciones en verdadera magnitud, que Rabasa denomina *elevaciones*. Siguiendo el trazado de la bóveda de terceletes del manuscrito de Hernán Ruíz, de planta cuadrada, podemos trazar un perpieño semicircular en su plano vertical; a continuación haremos girar el ojivo alrededor de un eje vertical para llevarlo al plano del perpieño, como en nuestros manuales de *diédrico directo*. Después trazaremos la ligadura, que descenderá desde la clave del ojivo con radio igual al de la semiesfera que circunscribe la planta. Por último, podremos construir el tercelete, abatido sobre el plano vertical del perpieño, teniendo en cuenta que se debe encontrar con la ligadura en la clave secundaria y que la tangente en su arranque debe ser vertical [figura 38].

En las primeras bóvedas de crucería, de la época románica, los nervios son de sección muy simple, o incluso rectangulares; en cambio, en el Gótico y el Renacimiento adoptan secciones complejas, lo que requiere el empleo de plantillas de lecho para labrar las dovelas. Precisamente estas plantillas juegan un papel fundamental en uno de los puntos más interesantes de la bóveda, la jarja o *tas-de-charge*. En general las primeras hiladas de los arcos perpieños, formeros y ojivos se disponen con los planos de lecho horizontales, lo que reduce la necesidad de cimbras y los problemas geométricos de su encuentro; basta superponer las plantillas de lecho del ojivo, el formero y el perpieño para obtener la sección común de esta unión de arcos. Una solución muy sofisticada es la expuesta por Viollet-le-Duc, que pasa por disponer horizontalmente la porción común a los tres arcos y radialmente la parte de cada uno que queda independiente de los otros tres.

El otro punto singular de la bóveda de crucería es

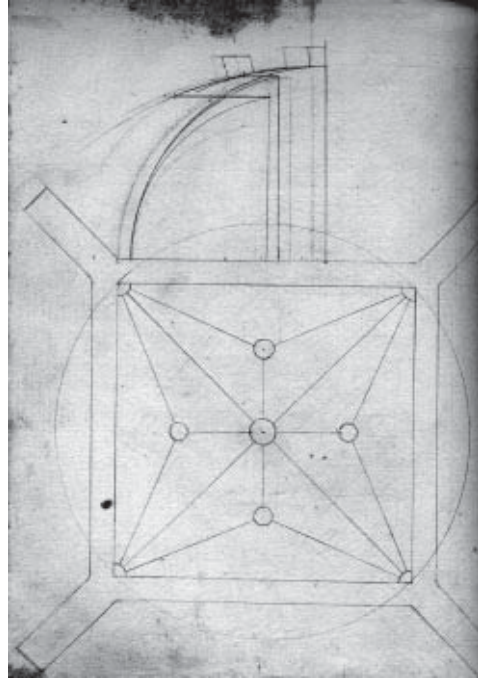


Figura 38. Trazado de la bóveda de terceletes. Hernán Ruíz, *Libro de Arquitectura*, c. 1560.



Figura 39. A la derecha de la imagen, trazado de la bóveda esférica de coronación de una escalera que sube a las terrazas de la catedral de Sevilla, inciso en la propia terraza, c. 1535. Foto de José Antonio Ruiz de la Rosa.

la clave. En el arco apuntado, la solución más usual pasa por resolver el arco con dovelas ordinarias de arco de medio punto hasta llegar a la clave, que se materializa mediante dos de estas dovelas cor-

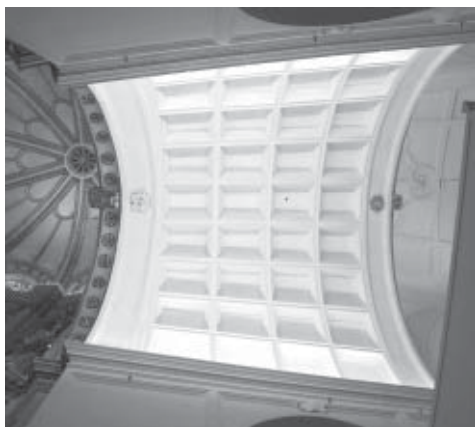


Figura 40. Arco abocinado resuelto por cruceros en los pasos entre girola y presbiterio de la catedral de Granada.

tadas a bisel, para evitar la complejidad de la labra de una pieza especial. En la unión de dos ojivos, o de dos terceletes y una ligadura, este encuentro a bisel sería impracticable, por lo que se recurre bien a una tortera que oculta una unión descuidada, bien a una clave especial labrada bajo demanda en el andamio, que incluye un cilindro central y el tramo final de los arcos que confluyen en la clave. En el gótico tardío, la multiplicidad de claves secundarias exige cuidar más su talla; en el trazado de Hernán Ruiz al que nos hemos referido, se aprovechan las *elevaciones* de los arcos para hallar el ángulo que forma el plano de lecho o sobrelecho del muñón de dovela incluido en la clave con el plano horizontal; una vez trazada la planta de la pieza a escuadra, se puede transferir este ángulo a la piedra por medio de la *salta-regla*, para labrar los planos de lecho.

Llegado el Renacimiento, toda una escuela andaluza, que paradójicamente arranca de la intervención de Jacopo Torni y Diego de Siloé en San Jerónimo de Granada, reinterpreta el repertorio formal romano mediante técnicas constructivas derivadas de la bóveda de crucería. Los arcos abocinados entre la girola y el presbiterio de la catedral de Granada [figura 40], las bóvedas esféricas denominadas *Capilla redonda por cruceros* o las vaídas de una importante serie de *templos de la*

estereotomía española, como los de Cazalla de la Sierra, Azpeitia, Huéscar o la Mérida del Yucatán se resuelven trazando casetones en la superficie de la bóveda, que se materializan mediante una red de nervios, sobre la que se dispone una plementería. Una pieza de esta familia que alcanza la categoría de arquetipo es el *Ochavo de La Guardia*, construida por Andrés de Vandelvira en el convento de dominicos de La Guardia de Jaén: una bóveda en cuarto de esfera cortada por un plano vertical no diametral, de impecable trazado clásico e irreprochable construcción ojival.

Sin embargo, otra línea de la cantería española del Renacimiento se basa en la resolución de elementos del lenguaje clásico mediante el ensamblado de piezas enterizas. El problema era tan novedoso para los canteros españoles de tradición medieval como para los artistas italianos o formados en Italia, que tanto peso tuvieron en la introducción del Renacimiento en nuestro país. La pieza básica de esta familia es la bóveda semiesférica o *Capilla redonda en vuelta redonda*, para Alonso de Vandelvira «principio y dechado de todas las capillas romanas». La solución clásica, ya empleada en la década de 1530 [figura 39], consiste en dividir la bóveda en hiladas y desarrollar un cono que pasa por dos juntas de lecho sucesivas y por tanto tiene el vértice en la vertical de la clave. El desarrollo se transporta a una plantilla flexible, «de cartón o de papel doble o cualquier otra cosa que se pueda doblar», en palabras de Joseph Gelabert. A continuación se da comienzo a la labra de la piedra con una cercha de radio igual al de la semiesfera, aprovechando que esta superficie tiene la misma curvatura en todas las direcciones. Una vez materializado el intradós se aplica la plantilla flexible, que se adaptará exactamente a las juntas de lecho y aproximadamente a las juntas entre dovelas de la misma hilada o *juntas* sin más; en cualquier caso, la operación permite marcar lechos y juntas y labrar las caras respectivas con ayuda de un único baivel, aprovechando una vez más que la esfera tiene la misma curvatura en todas direcciones, y que tanto los conos de los lechos como los planos meridionales de las juntas están formados por generatrices normales a la superficie esférica [figura 41].

El mismo esquema se aplica a otras bóvedas, como

las diversas variantes de la bóveda vaída, es decir, la bóveda semiesférica que cubre una planta cuadrada o rectangular, y que por lo tanto queda cortada por los planos verticales que pasan por los lados del recinto que salva la pieza. En la variante más simple, los lechos corresponden a paralelos de la superficie esférica del intradós, mientras que las juntas corresponden a meridianos; en este caso, el problema es idéntico en lo esencial a la *Capilla redonda en vuelta redonda*, pero será necesario realizar un desarrollo adicional de la pechina, es decir, el triángulo esférico que queda entre el arranque de la bóveda y las claves de los formeros [figura 42]. Otra variante es la *Capilla redonda por hiladas cuadradas*; aquí las dos familias de juntas de intradós se disponen en planos verticales no diametrales, los conos que pasan por dos lechos tienen el vértice en el plano de impostas y las dovelas que ocupan el lugar de los arcos ojivos son acodadas [figura 43]. La solución es particularmente apropiada para la bóveda de planta rectangular o *perlongada*, pues en este caso las claves de los formeros de los lados cortos y largos están a alturas diferentes, por lo que no pueden quedar unidos por el mismo lecho. Una variante que roza el virtuosismo es la *Capilla enrejada*: ya no hay lechos ni juntas, sino que la bóveda se despieza mediante dos familias de planos verticales paralelos a la diagonal de la planta; los escasos ejemplos de este tipo se resuelven casi siempre *por cruceros*. Pues



Figura 42. Bóveda vaída en la sacristía de la catedral de Murcia.

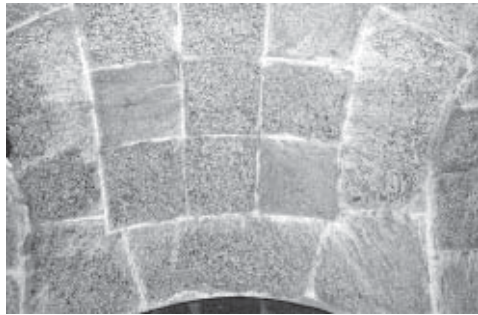


Figura 43. Bóveda vaída por hiladas cuadradas en el Monasterio del Escorial.

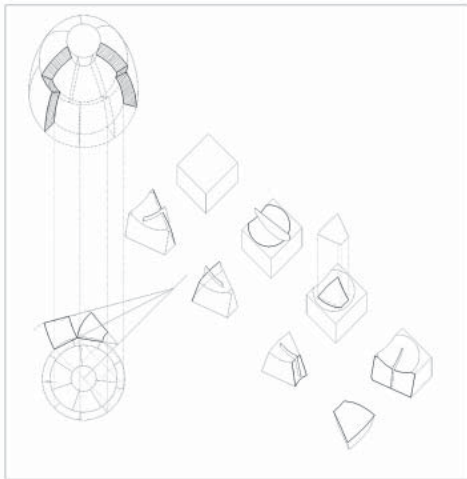


Figura 41. Esquema de trazado y labra de la bóveda esférica.

bien, todas estas variantes se combinan en la bóveda del *cuarto de las ropas* de la catedral de Murcia, hasta hace poco archivo: un cuadrado une los vértices de los formeros, y en su interior se inscribe otro cuadrado paralelo a los lados de la planta, en el que se abre un óculo [figura 44].

Del mismo modo que obtenemos una bóveda vaída cortando una semiesférica por los cuatro planos verticales que pasan por los lados de un cuadrado, podemos trazar los *rombos* y los *triángulos* de Alonso de Vandelvira seccionando una bóveda de naranja. Es curioso comprobar que el *Libro de trazas de cortes de piedras* resuelve los rombos mediante bóvedas de crucería con sus claves perpendiculares y secundarias, por cruceros parale-

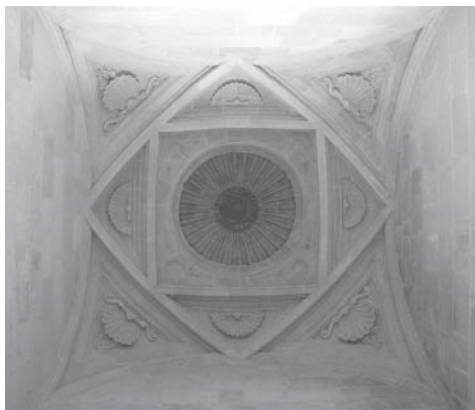


Figura 44. Bóveda vaída por cruceros en el segundo cuerpo de la torre de la catedral de Murcia.

los entre sí o por piezas enterizas, llegando a ofrecer en el caso del rombo una solución que podríamos denominar *por hiladas romboidales* y un despiece oval; todo parece indicar que Vandelvira pretende demostrar que la construcción *al romano* ofrece la misma flexibilidad que el sistema gótico.

También se relacionan con las vaídas y las esféricas los *patios* de Alonso de Vandelvira, que se obtienen muchas veces por el sencillo expediente de dejar sin colocar las últimas hiladas de una bóveda de naranja, lo que nos dará como resultado el *Patio redondo sin columnas*, o las de una vaída por hiladas cuadradas, que nos llevará, claro está, al *Patio cuadrado sin columnas*. De este último ofrece Vandelvira dos soluciones; una de ellas remarca el hueco mediante dobles nervaduras que llegan a las impostas, y se relaciona con una variante de la vaída, la *Capilla cuadrada*, construida por Andrés de Vandelvira en la cabecera de San Francisco de Baeza y también materializada en Santiago de Orihuela.

Sin embargo, otra solución al problema del patio se resuelve mediante una superficie tórica de eje vertical, como en la bóveda anular del patio del palacio de Carlos V en Granada [figura 45]. En principio, cabría aplicar la solución de la *Capilla redonda en vuelta redonda*: desarrollar un cono que pase por dos lechos sucesivos, labrar los frag-

mentos de superficie tórica, aplicar las plantillas y emplear baiveles. El inconveniente de esta solución es que el toro no tiene la misma curvatura en todas direcciones, lo que obligaría a emplear diversas cerchas y baiveles; quizá por esto el *Libro de trazas de cortes de piedras* recomienda labrar la bóveda *por robos*.

Si por el contrario el eje es horizontal, como en la capilla funeraria de Gil Rodríguez de Junterón en la catedral de Murcia, el arquetipo de la *Bóveda de Murcia* de Vandelvira, el autor recomienda inscribir conos de eje horizontal para ir labrando las dovelas comprendidas entre dos planos perpendiculares al eje de la bóveda [figura 46]. Ahora bien, estos planos no son planos de lecho, sino de junta; los planos de lecho forman un haz que pasa por el eje de la bóveda. Como consecuencia, la solución de Vandelvira sólo es aplicable directamente cuan-

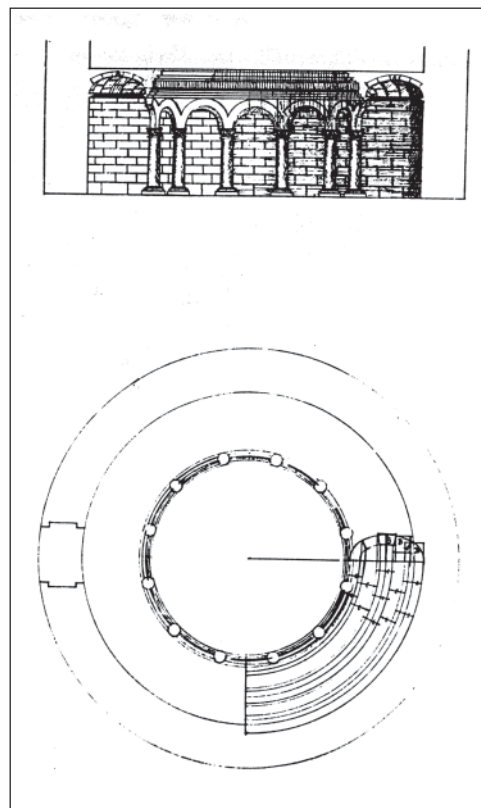


Figura 45. Patio redondo con columnas. Alonso de Vandelvira, *Libro de trazas de cortes de piedras*, 1567.

do las juntas tienen continuidad de una hilada a otra, pero ésta no es la solución más adecuada, ni la empleada en el arquetipo murciano, y el propio Vandelvira apunta la posibilidad de resolver la bóveda haciendo *ligazones*. El levantamiento de la capilla de Junterón realizado por Miguel Ángel Alonso y Ana López Mozo ha permitido comprobar que las juntas de cada hilada son simétricas respecto de las de la hilada precedente y la siguiente, lo que permite plantear una hipótesis respecto a su construcción. El trazado se realizaría de forma análoga a la indicada por Vandelvira, pero los planos verticales perpendiculares al eje estarían espaciados de forma irregular, y permitirían la labra de las hiladas impares. Ahora bien, dado que las hiladas pares son simétricas de las impares respecto del plano vertical que pasa por el eje longitudinal de la bóveda, el cantero podría reutilizar en la hilada par las plantillas empleadas en la hilada impar sin más que darles la vuelta o, dicho con más precisión, realizar un giro de 180° alrededor de un eje vertical.

La *Bóveda de Murcia* cubre una planta en «figura lenticular» o falso óvalo, frecuente en la primera mitad del siglo XVI: un rectángulo rematado por dos semicírculos. Sin embargo, a partir de la mitad de la centuria son frecuentes las bóvedas ovales o elipsoidales, a partir de la construcción de Sant'Andrea in Via Flaminia, de Jacopo Barozzi da Vignola, en 1550-1553. Vandelvira expone nada menos que seis soluciones diferentes para el problema de la bóveda oval. La *Capilla oval primera* resuelve el problema empleando un elipsoide de revolución cuyo eje coincide con el menor de la elipse de impostas; las juntas de lechos se disponen en un haz de planos que tiene por recta común este eje. Por tanto, en este caso, la flecha de la bóveda equivale a la mitad del eje mayor de la elipse cubierta por la bóveda, con lo que el resultado se acerca a la *Bóveda de Murcia*; el peralte exagerado de esta solución hace que sea muy difícil encontrar ejemplares de este tipo. El mismo método de trazado se emplea en la *Capilla oval segunda*, que no es otra cosa que la *primera* resuelta por *cruceros*.

La *Capilla oval tercera* se resuelve también mediante un elipsoide, disponiendo las juntas de lecho en secciones por planos horizontales, a las que

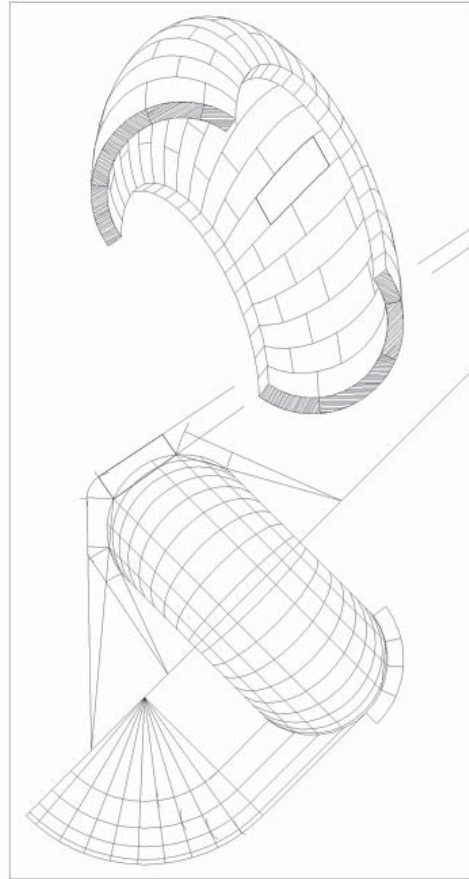


Figura 46. Esquema de trazado y labra de la Bóveda de Murcia.

podemos llamar paralelos; las juntas entre dovelas de la misma hilada estarán en planos verticales que pasan por el centro del elipsoide, o meridianos [figura 47]. Si realizamos el trazado conforme a las indicaciones de Vandelvira, la sección de la superficie de intradós por un plano vertical que pasa por el eje mayor de la elipse de planta será igual a la propia elipse de la imposta, y por tanto el resultado será un elipsoide de revolución; pero nada impide aplicar este procedimiento a un elipsoide escaleno. Aquí no es posible emplear las plantillas flexibles basadas en el desarrollo de un cono que se emplean en la *Capilla redonda en vuelta redonda* que, por una vez, no será principio y dechado de esta *capilla romana*. Vandelvira pro-

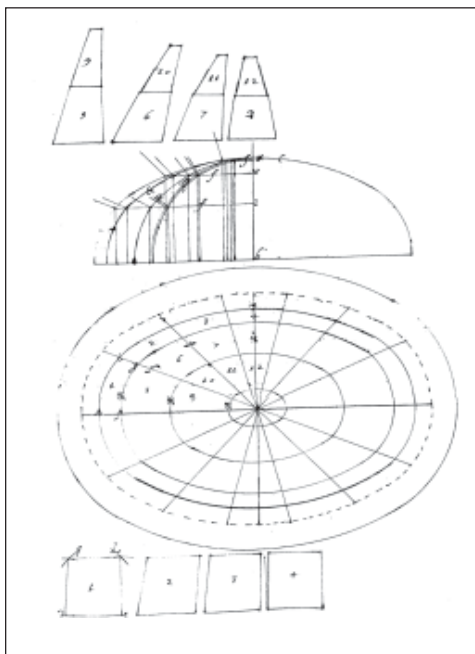


Figura 47. *Capilla oval tercera*. Alonso de Vandelvira, *Libro de trazas de cortes de piedras*, 1567.

pone trazar por separado la plantilla de intradós de cada dovela, construyendo en verdadera magnitud el cuadrilátero formado por los cuatro vértices de la cara; como las secciones de un elipsoide por planos paralelos a un eje son elipses de la misma proporción, las cuerdas de las juntas de lecho y sobrelecho de cada dovela son paralelas, y por tanto el cuadrilátero que queremos representar con la *planta* será plano; esto permite trazar la plantilla con precisión mediante un abatimiento alrededor de la cuerda de la junta de lecho inferior. Como en el caso anterior, la *Capilla oval cuarta* no es otra cosa que la pieza que acabamos de ver resuelta *por cruceros*.

La *Capilla oval quinta* emplea una vez más un elipsoide de revolución, pero esta vez con eje a lo largo del mayor de la elipse de impostas, disponiendo las juntas de lecho en un haz de planos que tiene por recta común el eje menor de esta elipse. Las juntas entre dovelas de la misma hilada vendrán dadas por las secciones por planos verticales perpendiculares al eje menor. En este caso sí po-

demos aplicar el método de desarrollo de conos expuesto por Vandelvira al tratar de la *Capilla redonda en vuelta redonda*, puesto que podemos hacer pasar un cono por dos juntas consecutivas entre dovelas de la misma hilada. La *Capilla oval sexta* es una variante de la quinta, pero esta vez no se resuelve *por cruceros*, sino por piezas enterizas; el elipsoide de revolución se dispone con eje en el diámetro mayor de la elipse de impostas, pero aquí este eje es también la recta común del haz de planos de lecho, mientras que las juntas entre dovelas de la misma hilada vienen dadas por planos verticales paralelos al diámetro menor de la elipse de la planta; en la castiza expresión de Vandelvira, esta bóveda «ciérrase de la misma manera que un melón».

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA. FUENTES

- Villard De Honnecourt, *Cuaderno*, 1225-1235. (París, Bibliothèque Nationale, Ms. fr. 19093. Ed. crítica de H. Hahnloser, Graz, 1972. Ed. facsimilar en François Bucher, *Architector*, Nueva York, Abaris, 1979. Ed. facsimilar, París, Stock, 1980. Ed. española, Madrid, Akal, 1991).
- Roriczer, Mathes, *Büchlein von der fialen Gerechtheit*, 1486. (Reedición Treves, Reichensperger, 1845. Ed. Lon R. Shelby, en *Gothic Design Techniques*, Carbondale, Southern Illinois University Press, 1977).
- Roriczer, Mathes, *Geometria Deutsch*, 1490. (Ed. Lon R. Shelby, *Gothic Design Techniques*, Carbondale, Southern Illinois University Press, 1977).
- Roriczer, Mathes, *Wimpergbüchlein*, 1490. (Ed. Lon R. Shelby, *Gothic Design Techniques*, Carbondale, Southern Illinois University Press, 1977).
- Lechler, Lorenz, *Unterweisungen und leringen für seinen Son Moritzen*, 1500. (Ed. August Reichensperger, Leipzig, 1856).
- Schmuttermayer, Hans, *Fialenbüchlein*, 1500. (Ed. Lon R. Shelby, *Gothic Design Techniques*, Carbondale, Southern Illinois University Press, 1977).
- Gil de Hontañón, Rodrigo, *Manuscrito*, 1540. (Recogido en el manuscrito de Simón García *Compendio de Arquitectura y simetría de los templos*, 1681. Ed. facsimilar y transcripción, Valladolid, Colegio de Arquitectos, 1991).
- Ruiz el Joven, Hernán, *Libro de Arquitectura*, 1550. (Estudio y edición crítica por Pedro Navascués Pala-

- cio, Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, 1974. Edición facsimilar, Sevilla, Fundación Sevillana de Electricidad, 1998).
- Anónimo, *Libro del maestro WG*, 1560. (Ed. facsimilar en François Bucher, *Architector*, Nueva York, Abaris, 1979).
 - L'Orme, Philibert de, *Le premier tome de l'Architecture*, París, Federic Morel, 1567. (Ed. facsimilar de la príncipe, París, Léonce Laget, 1988).
 - Cheréau, Jean, *Livre d'Architecture*, 1567-1574. (Gdansk, Biblioteca Municipal. Ms. 2280).
 - Turriano, Pseudo Juanelo, *Los veintitún libros de los ingenios y las máquinas*, 1570. (Manuscrito atribuido a Juanelo Turriano o a Pedro Juan de Lastanosa. Ed. de J. A. García de Diego, Madrid, Turner, 1983).
 - Vandelvira, Alonso de, *Libro de Traças de cortes de Piedras*, 1575-1591. (Copia en Madrid, Biblioteca de la Escuela de Arquitectura. Ed. facsimilar: *Tratado de arquitectura*, Albacete, Caja Provincial de Ahorros, 1977; incluye transcripción y prólogo de Geneviève Barbé-Coquelin de Lisle).
 - Rojas, Cristóbal de, *Teórica y práctica de fortificación, conforme a las medidas de estos tiempos ...*, Madrid, Luis Sánchez, 1598. (Ed. facsimilar en *Tres tratados sobre fortificación y milicia*, Madrid, CEHOPU, 1985).
 - Anónimo, *Manuscrito de arquitectura y cantería*, 1600. (Madrid, Biblioteca Nacional. Ms. 12.744. Lleva la mención apócrifa 'Sacado de Baldeelbira. fragmentos de dibujos y discursos de arquitectura de Alonso de Van de Elvira ordenados acaso por Felipe de Lázaro de Goiti').
 - Anónimo, *Manuscrito de cantería*, 1600. (Madrid, Biblioteca Nacional, Ms. 12.686).
 - Guardia, Alonso de, *Manuscrito de arquitectura y cantería*, 1600. (Anotaciones sobre una copia de Battista Pittoni, *Imprese di diversi principii, duchi, signori ...*, Libro II, Venecia, 1566. Madrid, Biblioteca Nacional, ER/4196.).
 - Martínez de Aranda, Ginés, *Cerramientos y trazas de monea*, 1600. (Ms. Servicio Histórico del Ejército, Madrid. Ed. facsimilar Madrid, Servicio Histórico del Ejército - CEHOPU, 1986).
 - Nicot, Jean, *Thrésor de la langue française*, París, David Douceur, 1606.
 - San Nicolás, Fray Laurencio de, *Arte y uso de Arquitectura*, s. 1., Imprenta de Juan Sanchez, 1633. (3ª impr, Madrid, Manuel Román, 1736. Ed. fasimil, Valencia, Albatros).
 - Desargues, Girard, *Brouillon project d'exemples d'une manière universelle du sieur G.D.L. touchant la pratique du trait a preuve pour la coupe des pierres en architecture*, París, Melchoir Tavernier, 1640.
 - Jousse, Mathurin, *Le secret d'architecture découvrant fidèlement les traits géométriques, coupes et dérobements nécessaires dans les bastimens*, La Flèche, Georges Griveau, 1642.
 - Bosse, Abraham, *La pratique du trait a preuues de M. Desargues pour la coupe des pierres en l'Architecture*, París, Abraham Bosse, 1643.
 - Derand, P. François, *L'Architecture des voutes ou l'art des traits et coupe des voutes*, París, Sébastien Cramoisy, 1643.
 - Gelabert, Joseph, *De l'art de picapedrer*, 1653. (Ed. facsimilar, Palma, Diputación, 1977).
 - Torija, Juan de, *Breve tratado de todo tipo de bóvedas así regulares como irregulares ...*, Madrid, Pablo de Val, 1661. (Ed. facsimilar Valencia, Albatros, 1981, con estudio preliminar de Genèviève Barbé-Coquelin de Lisle).
 - San Nicolás, Fray Laurencio de, *Arte y uso de Arquitectura*, s. 1. [Madrid], Imprenta de Juan Sanchez, 1633. (Ed. fasimil, Valencia, Albatros).
 - Covarrubias, Sebastián de, *Tesoro de la lengua castellana o española*. (2ª ed. 1674, con adiciones de Benito Remigio Noydens. Ed. 1943, Martín de Riquer; reimpr. 1987, Barcelona, Altafulla).
 - Milliet-Dechales, P. Claude François, *Cursus seu mundus mathematicus*, Lyon, Anisson, 1674.
 - Caramuel de Lobkowitz, Juan, *Arquitectura civil recta y oblicua...*, Vigevano, Imprenta Obispal, 1678. (Ed. facsimilar Madrid, Turner, 1984, con estudio preliminar de Antonio Bonet Correa).
 - García, Simón, *Compendio de arquitectura y simetría de los templos, conforme a la medida del cuerpo humano*, 1681. (Incluye otro manuscrito de Rodrigo Gil de Hontañón. Ed. facsimilar, Churubusco, Escuela de Conservación, Restauración y Museografía, 1979; ed. facsimilar y transcripción, Valladolid, Colegio de Arquitectos, 1991.).
 - La Hire, Philippe de, *Traité de la coupe des pierres*, 1700. (París, Biblioteca del Institut de France, Ms. 1596.).
 - Tosca, Thomas Vicente, *Compendio matemático, en que se contienen todas las materias más principales de las Ciencias, que tratan de la cantidad....*, Valencia, Antonio Bordazar, 1707. (Publicado en varios volúmenes 1707-15; 2ª ed. 1721-27.).

- Portor y Castro, Juan de, *Cuaderno de arquitectura*, 1708. (Madrid, Biblioteca Nacional, Ms. 9114).
- La Rue, Jean-Baptiste de, *Traité de la coupe des pierres où par méthode facile et abrégée l'on peut aisément se perfectionner en cette science*, París, Imprimerie Royale, 1728. (Ed. facsimilar Nogent-le-Roi 1977).
- Guarini, Guarino, *Architettura Civile*, Turín, Gianfrancesco Mariesse, 1737. (Ed. póstuma a cargo de Bernardo Vittone y los teatinos de Turín, 1737. Ed. Londres 1964, Milán 1968. Ed. facsimilar, Turín 1966.).
- Frézier, Amédée-François, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voutes et autres parties des bâtiments civils et militaires ou traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture*, Estrasburgo-París, Jean Daniel Doulsseker-L. H. Guerin, 1737-1739. (Ed. facsimilar Nogent-le-Roi. L. A. M. E. 1980).
- Frézier, Amédée-François, *Elements de stéréotomie à l'usage de l'architecture pour la coupe des pierres*, París, C. A. Jombert, 1760. (Ed. 1830).
- Bails, Benito, *Elementos de Matemática...*, Madrid, Joaquín Ibarra, 1779-1987. (Ed. 1787-1796. Ed. facsimilar del tomo IX, parte I: *De la Arquitectura Civil*, Murcia, Colegio de Aparejadores, 1983).
- Rejón de Silva, Diego Antonio, *Diccionario de las Nobles Artes para Instrucción de los Aficionados y Uso de los Profesores*, Segovia, Antonio Espinosa, 1788. (Ed. facsimilar Murcia, Consejería de Cultura y Educación, 1985).
- Calbo y Caldés, Pascual, *Obras didácticas*, 1790-1817. (Manuscrito. Museo de Mahón).
- Monge, Gaspard, *Géométrie Descriptive*, París, Baudouin, 1799. (Ed. facsimilar de la trad. esp. de 1803, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, 1996).
- Monge, Gaspard, "Stéréotomie", *Journal Polytechnique ou Bulletin du travail fait à l'Ecole Centrale des Travaux Publics*, 1799.
- Bails, Benito, *Diccionario de Arquitectura Civil*, Madrid, Viuda de Ibarra, 1802. (Ed. facsimilar Oviedo, Colegio de Aparejadores, 1973; ed. facsimilar Zaragoza, Colegio de Arquitectos, 1991).
- Rondelet, Jean-Baptiste, *Traité theorique et pratique de l'art de batir*, París, L'auteur, 1802-1817.
- Hachette, Jean Nicolas Pierre, *Traité de géométrie descriptive : comprenant les applications de cette géométrie aux ombres, à la perspective et à la stéréotomie*, París, Corby, 1822.
- Douliot, J.-P., *Traité spécial de coupe des pierres*, París, El autor, 1825.
- Vallée, Louis-Leger, *Coupe des Pierres*, París, 1828.
- Adhémar, Joseph-Alphonse, *Traité de la coupe des pierres*, París, Bachelier, 1840.
- Leroy, Charles-Félix-Auguste, *Traité de stéréotomie, comprenant les applications de la géométrie descriptive à la théorie des ombres, la perspective linéaire, la gnomonique, la coupe des pierres et la charpente ...*, París, Mallet-Bachelier, 1844.
- Adhémar, Joseph-Alphonse, *Nouvelles Études de coupe des pierres. Traité théorique et pratique des ponts biais*, París, V. Dalmont, 1856.
- Miguel y Lucuy, Manuel, *Lecciones de corte de piedras o sea modificaciones de algunas de las lecciones de la obra de Sr. A. Adhemar*, Madrid, Memorial de Ingenieros, 1864.
- Sánchez Tirado, Anselmo, *Estereotomía. Bóvedas oblicuas*, Madrid, 1868.
- La Gournerie, Jules Maillard, *Mémoire sur l'appareil de l'arche braise*, París, Librairie Polytechnique de J. Baudry, 1872.
- Mojados, Eugenio, *Estereotomía*, Madrid, 1883.
- Pillet, Jules Jean, *Traité de stéréotomie*, París, C. Delagrave, 1887.
- Rovira y Rabassa, Antoni, *Estereotomía de la Piedra*, Barcelona, Provincial de la Caridad, 1897.
- Ponte y Blanco, Francisco, *Manual práctico de estereotomía: aplicaciones al corte de piedras, maderas y hierros*, La Coruña, Ferrer, 1904.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA. ESTUDIOS

- AA. VV., *Guía práctica de la cantería. El trabajo de la piedra*, León, Escuela Taller de Restauración 'Centro Histórico', 1993.
- Adams, J., "The use of templates in Gothic Architecture, a key to design and execution", *Bulletin of research in the humanities*, 83, 1980, pp. 280-291.
- Aita, Danila, "Between geometry and mechanics: a re-examination of the principles of stereotomy from a static point of view", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2001, pp. 161-170.

- Aladenise, V., *Taille de pierre, technologie*, París, Librairie du Compagnonnage, 1991.
- Alomar Esteve, Gabriel, *Guillem Sagrera y la arquitectura gótica del siglo XV*, Barcelona, Blume-Colegio de Arquitectos de Cataluña y Baleares, 1970.
- Alonso de la Sierra Fernández, Lorenzo, "El convento de Santa María de Cádiz. Datos sobre su arquitectura", *Atrio. Revista de historia del arte*, 2, 1990, pp. 107-118.
- Alonso de la Sierra Fernández, Lorenzo, "Aportaciones de Alonso de Vandelvira a la configuración de Cádiz tras el asalto anglo-holandés de 1596", *Cuadernos de Arte de la Universidad de Granada*, 25, 1994, pp. 47-59.
- Alonso Rodríguez, Miguel Ángel, "Sobre las cúpulas de las torres de la basílica del Escorial", en *El Monasterio del Escorial y la arquitectura*, El Escorial, Instituto Escorialense de Investigaciones Artísticas e Históricas, 2002, pp. 487-500.
- Alonso Rodríguez, Miguel Ángel y Ana López Mozo, "Levantamiento de la cúpula de la iglesia del Monasterio de San Lorenzo del Escorial", en *IX Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 2002, pp. 303-308.
- Alonso Rodríguez, Miguel Ángel, Enrique Rabasa Díaz y José Calvo López, *Las bóvedas de la sacristía y antesacristía de la Catedral de Murcia*, 2002. (Trabajo inédito disponible en la biblioteca del Colegio de Arquitectos de Murcia).
- Antón Solé, Pablo, "La catedral vieja de Santa Cruz de Cádiz. Estudio histórico y artístico de su arquitectura", *Archivo Español de Arte*, XLVIII, 189, 1975, pp. 83-96.
- Aubert, Marcel, "Les plus anciennes croisées d'ogives. Leur rôle dans la construction", *Bulletin monumental*, 1934, pp. 5-67, 378-381.
- Banda y Vargas, Antonio de la, "Nuevos datos acerca del manuscrito de arquitectura de Alonso de Vandelvira", *Archivo Español de Arte*, 168, 1969, pp. 378-381.
- Banda y Vargas, Antonio de la, *El arquitecto andaluz Hernán Ruíz II*, Sevilla, Universidad, 1974.
- Barbe-Coquelin de Lisle, Geneviève, "Introducción", en Alonso de Vandelvira, *Tratado de arquitectura*, Albacete, Caja de Ahorros, 1977, pp. 1-36.
- Barbe-Coquelin de Lisle, Geneviève, "Progresos de la cantería y nivel científico en España en la época de Juan de Herrera", en *Juan de Herrera y su influencia*, Santander, Universidad de Cantabria, 1992, pp. 129-136.
- Barnes, Carl F., "The gothic architectural engravings in the cathedral of Soissons", *Speculum*, XLVII, 1, 1972, pp. 60-64.
- Barnes, Carl F., "Villard de Honnecourt", en *Macmillan Dictionary of Art*, Londres, Macmillan, 1996, pp. 569-571.
- Bechmann, Roland, *Les racines des cathédrales. L'architecture gothique, expression des conditions du milieu*, París, Payot, 1981.
- Bechmann, Roland, "Les dessins techniques du Carnet de Villard de Honnecourt", en *Carnet de Villard de Honnecourt*, París, Stock, 1986. (Tr. española de Yago Barja de Quiroga, *Villard de Honnecourt. Cuaderno*, Madrid, Akal, 1991).
- Bechmann, Roland, *Villard de Honnecourt. La pensée technique au XIIIe siècle et sa communication*, París, Picard, 1991. (2ª ed. revisada y aumentada 1993).
- Blanco Esquivias, Beatriz, "Sobre el debate entre arquitectos profesionales y arquitectos artistas en el Barroco Madrileño. Las posturas de Herrera, Olmo, Donoso y Ardemans", *Espacio, Tiempo y Forma. Serie VII: Historia del Arte*, 4, 1991, pp. 159-194.
- Blunt, Anthony, *Philibert de L'Orme*, Londres, Zwemmer, 1958.
- Bonet Correa, Antonio, "Aspectos renacentistas de la Catedral de Murcia", en *Santa Iglesia Catedral. V Centenario de su consagración ...*, Murcia, Ayuntamiento, 1966.
- Bonet Correa, Antonio, "Le scale imperiale spagnoli", en *Galeazzo Alessi e l'architettura del cinquecento. Atti del Convegno Internazionale di studi*, Génova, Sagep, 1975, pp. 631-645.
- Bonet Correa, Antonio, "Ginés Martínez de Aranda, arquitecto y tratadista de cerramientos y arte de monte", en Ginés Martínez de Aranda, *Cerramientos y trazas de Montea*, Madrid, Servicio Histórico Militar, 1986. (Ahora en *Figuras, modelos e imágenes en los tratadistas españoles*, Madrid, Alianza Forma, 1993, pp. 119-140).
- Bonet Correa, Antonio, "Los tratados de monte y cortes de piedra españoles en los siglos XVI, XVII y XVIII", *Academia*, 69, 1989, pp. 29-62. (Ahora en *Figuras, modelos e imágenes en los tratadistas españoles*, Madrid, Alianza Forma, 1993, pp. 105-118).
- Bonet Correa, Antonio, "Dos ejemplos de cortes de

- cantería de Ginés Martínez de Aranda en Santiago de Compostela", en *En torno al arte auriense. Homenaje a Don José González Paz*, Santiago - Orense, Universidad - Diputación, 1990. (Ahora en *Figuras, modelos e imágenes en los tratadistas españoles*, Madrid, Alianza Forma, 1993, pg. 141-145).
- Bottineau-Fuchs, Yves, "Abraham Bosse 'interprète' de Desargues", en *Desargues en son temps*, París, Blanchard, 1994, pp. 371-388.
 - Boudon, François y Jean Blecon, "Le vis, la marche et le noyau: leurs relations au début du XVI siècle", en *L'escalier dans l'architecture de la Renaissance. Actes du colloque tenu à Tours du 22 au 26 mai 1979*, París, Picard, 1985, pp. 75-82.
 - Branner, Robert, "Three problems from the Villard de Honnecourt manuscript", *Art Bulletin*, XXXIX, 1957, pp. 61-67.
 - Bucher, François, "Design in Gothic Architecture. A preliminary assessment", *Journal of the Society of Architectural Historians*, XXVII, 1, 1968, pp. 49-71.
 - Bucher, François, "The Dresden sketchbook of vault projection", en *Proceedings of the 22nd Congress of Art History*, Budapest, 1972, pp. 527-537.
 - Bucher, François, "Medieval Architecture Design Methods, 800-1560", *Gesta*, XI, 2, 1973, pp. 37-51.
 - Bucher, François, "A rediscovered tracing by Villard de Honnecourt", *Art Bulletin*, LIX, 3, 1977, pp. 315-318.
 - Bustamante García, Agustín, *La octava maravilla del mundo. Estudio histórico sobre el Escorial de Felipe II*, Madrid, Alpuerto, 1994.
 - Bustamante García, Agustín y Fernando Marías, "La catedral de Granada y la introducción de la cúpula en la España del Renacimiento", *Boletín del Museo e Instituto 'Camón Aznar'*, 8, 1982, pp. 103-115.
 - Bustamante [García], Agustín y Fernando Marías, "La sombra de la cúpula de El Escorial", *Fragmentos*, 4-5, 1985, pp. 46-63.
 - Cabezas Gelabert, Lino, "Del 'arte de la cantería' al 'oficio de la cantería'", en *Juan de Herrera y su influencia*, Santander, Universidad de Cantabria, 1992, pp. 137-142.
 - Cabezas Gelabert, Lino, "'Ichnographia', la fundación de la arquitectura", *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 2, 1992, pp. 82-94.
 - Cabezas Gelabert, Lino, "Los modelos tridimensionales de arquitectura", *Anales de Arquitectura*, 5, 1994, pp. 5-14.
 - Calvo López, José, "Los trazados de cantería en la 'Teórica y práctica de fortificación' de Cristóbal Rojas", en *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1998, pp. 67-75.
 - Calvo López, José, '*Cerramientos y trazas de montea*' de Ginés Martínez de Aranda, tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1999.
 - Calvo López, José, "Lunetas y arcos avanzados. El trazado de un elemento constructivo en los siglos XVI y XVII", en *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2000, pp. 165-175.
 - Calvo López, José, "Arquitectura oblicua y trazas de montea", *Revista de Expresión Gráfica en la Edificación (EGE)*, 2, 2001, pp. 38-51.
 - Calvo López, José, "Entre labra y traza. Instrumentos geométricos para la labra de la piedra de sillería en la Edad Moderna", en *Actas del VI Congreso Nacional de Profesores de Materiales de Construcción de Escuelas de Arquitectura Técnica*, Sevilla, 2001, pp. 107-120.
 - Calvo López, José, "Las trazas de montea en la fortificación española del Renacimiento", en *Actas de las Jornadas sobre Fortificaciones Modernas y Contemporáneas*, Cartagena, Universidad Politécnica-AFORCA, 2001, pp. 41-48.
 - Calvo López, José, "La semielipse peraltada. Arquitectura, mecánica y geometría en las últimas décadas del siglo XVI", en *El Monasterio del Escorial y la arquitectura*, El Escorial, Instituto Escorialense de Investigaciones Artísticas e Históricas, 2002, pp. 417-435.
 - Calvo López, José, "Superficies regladas desarrollables y alabeadas en los manuscritos españoles de cantería", en *IX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 2002, pp. 313-318.
 - Calvo López, José, "Orthographic projection and true size in Spanish stonecutting manuscripts", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 461-471.
 - Calvo López, José, Miguel Ángel Alonso Rodríguez y Ana López Mozo, *La capilla de Gil Rodríguez de Junterón y la bóveda de Murcia*, 2001. (Trabajo inédito disponible en la biblioteca del Colegio de Arquitectos de Murcia).
 - Calvo López, José y Enrique Rabasa Díaz, "La coupe des pierres dans l'Espagne du XVIème siècle: le manuscrit de Ginés Martínez de Aranda", en Massimo

- Corradi, Antonio Becchi, Federico Foce, y Orieta Pedemonte, ed., *Towards a History of Construction*, Berlín-Basilea-Boston, Birkhauser, 2002, pp. 529-549.
- Camerota, Filippo, *Prospettiva aedificandi. Ottica, stereotomia e architettura obliqua*, tesis doctoral, Florencia, 1994.
 - Camón Aznar, José María, "La intervención de Rodrigo Gil en el manuscrito de Simón García", *Archivo Español de Arte*, 45, 1941, pp. 300-305.
 - Cano de Gardoqui y García, José Luis, "El profesionalismo de los maestros y oficiales de la fábrica del Escorial. La organización de los trabajos", en *Juan de Herrera y su influencia*, Santander, Universidad de Cantabria, 1992, pp. 27-42.
 - Cano de Gardoqui y García, José Luis, *La construcción del Monasterio de El Escorial. Historia de una empresa arquitectónica*, Valladolid, Universidad de Valladolid, 1994.
 - Casaseca Casaseca, Antonio, "Trazas para la catedral de Segovia", *Archivo Español de Arte*, 201, 1978, pp. 29-50.
 - Casaseca Casaseca, Antonio, *Rodrigo Gil de Hontanón (Rascafría, 1500 - Segovia, 1577)*, Valladolid, Junta de Castilla y León, 1988.
 - Chaboud, Marcel, "Desargues Lyonnais", en *Desargues en son temps*, París, Blanchard, 1994, pp. 433-452.
 - Chastel, André, "Un membre privilégié de l'architecture", en *L'escalier dans l'architecture de la Renaissance. Actes du colloque tenu à Tours du 22 au 26 mai 1979*, París, Picard, 1985, pp. 7-8.
 - Châtelet-Lange, Liliane, "La 'forma ovale si come costumarono li antichi romani': Sallés et cours ovales en France au seizième siècle", *Architectura*, 6, 2, 1976, pp. 128-147.
 - Choisy, Auguste, *L'art de bâtir chez les romains*, París, Ducher, 1873. (Tr. española de Manuel Manzano-Monís López-Chicheri, *El arte de construir en Roma*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1999).
 - Choisy, Auguste, *L'art de bâtir chez les bizantins*, París, Librairie de la Société Anonyme de Publications Périodiques, 1883. (Tr. española, *El arte de construir en Bizancio*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1997).
 - Choisy, Auguste, *Histoire de l'Architecture*, París, Gauthier-Villars, 1899. (Ed. facsimilar, Inter-Livres, s. l., s. f.).
 - Chueca Goitia, Fernando, "Sobre arquitectura y arquitectos madrileños del siglo XVII", *Archivo Español de Arte*, 1945, pp. 360-374.
 - Chueca Goitia, Fernando, *La catedral nueva de Salamanca. Historia documental de su construcción*, Salamanca, Universidad de Salamanca, 1951.
 - Chueca Goitia, Fernando, *Arquitectura del siglo XVI*, Madrid, Plus Ultra, 1953.
 - Chueca Goitia, Fernando, *Andrés de Vandelvira, arquitecto*, Jaén, Diputación, 1971.
 - Cirici, Alexandre, *Arquitectura gótica catalana*, Barcelona, Lumen, 1968.
 - Coffin, David R., "Padre Guarino Guarini in Paris", *Journal of the Society of Architectural Historians*, XV, Mayo 1956, pp. 3-11.
 - Cruz Cabrera, José Policarpo, "Una obra desconocida de Andrés de Vandelvira y Francisco del Castillo: el puente Mazuecos de Baeza", *Archivo Español de Arte*, 68, 272, 1995, pp. 381-390.
 - De Nichilo, Eliana, *Architettura e stereotomia: le volte piane. Sequenze, nodi tettonici e technique stereotomiche a confronto*, tesis doctoral, Politécnico de Bari, 2003.
 - De Nichilo, Eliana, "Learning from traditional vaulted systems for the contemporary project of architecture. The experimental construction site at the Ponton de la Oliva ...", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 743-754.
 - Díez del Corral Garnica, Rosario, "La introducción del Renacimiento en Toledo: el Hospital de Santa Cruz", *Academia*, 62, 1986, pp. 161-183.
 - Docci, Mario, Riccardo Migliari y Carlo Bianchini, "Las 'vies parallèles' de Girard Desargues et de Guarino Guarini. Fondateurs de la science moderne de la représentation", en *Desargues en son temps*, París, Blanchard, 1994, pp. 395-412.
 - Domenge i Mesquida, Joan, "Guillem Sagrera. Alcançe y lagunas de la historiografía sagreriana", en Eduard Mira y Arturo Zaragoza Catalán, eds., *Una arquitectura gótica mediterránea*, Valencia, Generalitat, 2003, pp. 115-131.
 - Du Colombier, Pierre, *Les chantiers des cathédrales*, París, 1953.
 - Erlande-Brandenburg, Alain, "Villard de Honnecourt, l'architecture et la sculpture", en *Carnet de Villard de Honnecourt*, París, Stock, 1986.
 - Evans, Robin, "La trompe di Anet", *Eidos*, 2, 1988.

- Evans, Robin, *The Projective Cast*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 1995.
- Falcón Márquez, Teodoro, *El Sagrario de la Catedral de Sevilla*, Sevilla, 1977.
- Falcón Márquez, Teodoro, "El nombramiento de Ginés Martínez de Aranda como maestro mayor de las diócesis de Cádiz y Santiago de Compostela", en *Tiempo y espacio en el arte. Homenaje al profesor Antonio Bonet Correa*, Madrid, Universidad Complutense, 1994, pp. 462-468.
- Fallacara, Giuseppe, "The formal unity of aerial vaults' texture: The "trompes" ... ", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 839-850.
- Fallacara, Giuseppe, *Il paradigma stereotomico nell'arte di costruire. Dalla natura sincretica della modellazione digitale alla progettazione / produzione di elementi in pietra di taglio*, tesis doctoral, Politécnico de Bari, 2004.
- Fergusson, Peter J., "Notes on two engraved cistercian drawings", *Speculum*, LIV, 1979, pp. 1-17.
- Fernández Gómez, Margarita, "La planta oval. Traza y símbolo", *Loggia*, 3, 1996, pp. 16-21.
- Fernández Salas, José, "Geometría y función estructural en cantería. La cantería y la estereotomía de la piedra en el aprendizaje del arte de construir y otras consideraciones", en *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1996, pp. 189-196.
- Fernández Salas, José y José Carlos Palacios Gonzalo, "La Concha de la Platería en la catedral de Santiago de Compostela", en *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2000, pp. 1133-1144.
- Fitchen, John, *The construction of Gothic Cathedrals. A study of medieval vault erection*, Oxford, Clarendon, 1961. (Ed. Chicago, University of Chicago, 1981).
- Frankl, Paul, "The secret of the Medieval Masons", *Art Bulletin*, XXVI, 1, 1945, pp. 46-60.
- Freire Tellado, Manuel J., "Los trazados de monte de factura renacentista del edificio de los escolapios de Monforte de Lemos (Lugo)", en *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1998, pp. 173-180.
- Galera Andréu, Pedro, *Arquitectura de los siglos XVII y XVIII en Jaén*, Granada, Caja General de Ahorros de Granada, 1977.
- Galera Andréu, Pedro, "Una familia de arquitectos jiennenses: los Aranda. Estudio genealógico", *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, 95, 1978, pp. 9-19.
- Galera Andréu, Pedro, *Arquitectura y arquitectos en Jaén a fines del XVI*, Jaén, Instituto de Estudios Jienenses, 1982.
- Galera Andréu, Pedro, *Andrés de Vandelvira*, Madrid, Akal, 2000.
- García Morales, María Victoria, *La figura del arquitecto en el siglo XVII*, Madrid, UNED, 1990.
- García Salinero, Fernando, *Léxico de alarifes de los siglos de oro*, Madrid, Real Academia Española, 1968.
- Garín Ortiz de Taranco, Felipe María, "Una posible escuela hispanolevantina de crucerías anervadas", en *Homenaje al profesor Cayetano de Mergelina*, Murcia, Universidad, 1962, pp. 431-439.
- Gentil Baldrich, Jose María, "Algunos modelos arquitectónicos del Renacimiento español", *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 1996.
- Gentil Baldrich, José María, "La traza oval y la Sala Capitular de la catedral de Sevilla. Una aproximación geométrica", en *Quatro edificios sevillanos*, Sevilla, Colegio de Arquitectos, 1996, pp. 73-147.
- Gentil Baldrich, Jose María y Enrique Rabasa Díaz, "Sobre la Geometría Descriptiva y su difusión en España", en Gaspard Monge, *Geometría Descriptiva*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, 1996.
- Gérard, Veronique, "L'escalier de l'Alcázar de Madrid", en *L'escalier dans l'architecture de la Renaissance. Actes du colloque tenu à Tours du 22 au 26 mai 1979*, París, Picard, 1985, pp. 161-164.
- Gila Medina, Lázaro, "Ginés Martínez de Aranda. Su vida, su obra y su amplio entorno familiar", *Cuadernos de Arte de la Universidad de Granada*, 1988, pp. 65-81.
- Gila Medina, Lázaro, *Arte y artistas del Renacimiento en torno a la Real Abadía de Alcalá la Real*, Granada - Alcalá la Real, Universidad - Ayuntamiento, 1991.
- Gila Medina, Lázaro, *Arquitectura religiosa de la Baja Edad Media en Baeza y Úbeda*, Granada, Universidad, 1994.
- Gila Medina, Lázaro y Miguel Ruiz Calvente, "El programa iconográfico de la iglesia de Dominicos de La

- Guardia (Jaén)", *Cuadernos de Arte de la Universidad de Granada*, XVI, 1984, pp. 183-198.
- Gila Medina, Lázaro y Vicente M. Ruiz Puentes, "Andrés de Vandelvira: aproximación a su vida y obra", en *Arquitectura del Renacimiento en Andalucía. Andrés de Vandelvira y su época*, Sevilla, Consejería de Cultura, 1992, pp. 79-118.
 - Gómez-Ferrer Lozano, Mercedes, "La capilla del Sagrario en el convento de Santo Domingo de Valencia", en Eduard Mira y Arturo Zaragoza Catalán, eds., *Una arquitectura gótica mediterránea*, Valencia, Generalitat, 2003, pp. 193-197.
 - Gómez Martínez, Javier, "Aproximación al estudio de la construcción en la Nueva España", en *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1996, pp. 243-246.
 - Gómez Martínez, Javier, *El gótico español de la Edad Moderna. Bóvedas de Crujería*, Valladolid, Universidad, 1998.
 - Gómez-Moreno, Manuel, *Las águilas del Renacimiento español*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1941. (2ª ed. 1983, Madrid, Xarait, 245 pp).
 - Gómez-Moreno, Manuel, *El libro español de Arquitectura*, Madrid, Instituto de España, 1949.
 - Gordo Murillo, Carlos, *Bóvedas oblicuas en catedral. Sus elementos y morfología como factores determinantes de su uso*, tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1997.
 - Goy Diz, Ana, *Artistas, talleres e gremios en Galicia (1600-1650)*, Santiago de Compostela, Universidad, 1998.
 - Gullini, Giorgio, "The so-called 'petrification' and the birth of the Science of Construction in the Greek Architecture", en *Entre mécanique et architecture*, Basel - Boston - Berlin, Birkhäuser Verlag, 1995, pp. 32-46.
 - Gutiérrez-Cortines Corral, Cristina, *Renacimiento y Arquitectura religiosa en la antigua diócesis de Cartagena*, Murcia, Consejería de Cultura, 1987.
 - Gutiérrez Moreno, Pablo, "Estructuras de plementería pétreas de bóvedas de crucería estrelladas", *Arquivo Español de Arte*, 1951, pp. 251-253.
 - Gutiérrez, Ramón, *Arquitectura y urbanismo en Iberoamérica*, Madrid, Cátedra, 1983.
 - Gutiérrez, Ramón, *Barroco iberoamericano*, Barcelona, Lunberg, 1997.
 - Harvey, John, "The tracing floor in York Minster", *40th Annual report of the Friends of York Minster*, 1968, pp. 1-8.
 - Heyman, Jacques, "On the rubber vaults of the middle age and other matters", *Gazette des Beaux-Arts*, 71, 1968, pp. 177-188. (Tr. española de María Teresa Valcarce Labrador en *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica*, Madrid, CEHOPU, 1995, p. 83-92).
 - Heyman, Jacques, "The gothic structure", *Interdisciplinary science reviews*, 2, 1977, pp. 151-164. (Tr. española de María Teresa Valcarce Labrador en *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica*, Madrid, CEHOPU, 1995, p. 219-237).
 - Heyman, Jacques, "Calculation of abutment sizes for masonry bridges", en *Colloquium on history of structures. International Association for Bridge and Structural Engineering, 1984*, Londres, Institution of Structural Engineers, 1982. (Tr. española de Jorge Conde Conde, en *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica*, Madrid, CEHOPU, 1995, p. 273-278).
 - Heyman, Jacques, "How to design a cathedral: fragments of the history of structural engineering", en *Proceedings of the Institution of Civil Engineering*, 1992, pp. 24-29. (Tr. española de María Teresa Valcarce Labrador en *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica*, Madrid, CEHOPU, 1995, p. 337-343.).
 - Heyman, Jacques, "The collapse of stone vaulting", en *Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings*, Southampton - Boston, Computational Mechanics Publications, 1993, pp. 24-29. (Tr. española de Jorge Conde Conde, en *Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica*, Madrid, CEHOPU, 1995, p. 355-363).
 - Hoag, John D., *Rodrigo Gil de Hontañón. Gótico y Renacimiento en la arquitectura española del siglo XVI*, Madrid, Xarait, 1985. (Tr. de Pilar Navascués de parte de una tesis doctoral presentada en la Universidad de Yale en 1958 y revisada por el autor en 1985).
 - Huerta Fernández, Santiago, *Diseño estructural de arcos, bóvedas y cúpulas en España ca. 1500- ca. 1800*, tesis doctoral, Politécnica de Madrid, 1990.
 - Huerta Fernández, Santiago, "La teoría del arco de fábrica: desarrollo histórico", *OP*, 38, 1996, pp. 18-29.
 - Huerta Fernández, Santiago y Rafael Hernando de la Cuerda, "La teoría de bóvedas en el siglo XVIII: la contribución de Philippe de la Hire", en *Actas del Se-*

- gundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1998, pp. 233-244.
- Ibáñez, José María, "Don Gil Rodríguez de Junterón", *Boletín de la Junta del Patronato del Museo de Bellas Artes de Murcia*, 4, 1925.
 - Icher, Jacques, *La France des compagnons*, París, La Martinière, 1994.
 - Íñiguez Almech, Francisco, "Los ingenios de Juan de Herrera. Notas marginales", *Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos*, LXXI, 1-2, 1963, pp. 163-170.
 - Kubler, George Edward, "A late gothic computation of rib vault thrusts", *Gazette des Beaux-Arts*, XXVI, 1944, pp. 135-148.
 - La Gournerie, Jules Maillard, *Discours sur l'art du trait et la Géométrie Descriptive*, París, Mallet-Bachelier, 1855.
 - Lalbat, Claude, Gilbert Margueritte y Jean Martin, "De la stéréotomie médiévale: la coupe des pierres chez Villard de Honnecourt", *Bulletin monumental*, CXLV/4, 1987.
 - Lalbat, Claude, Gilbert Margueritte y Jean Martin, "De la stéréotomie médiévale: La coupe des pierres chez Villard de Honnecourt (II)", *Bulletin monumental*, 147, 1, 1989.
 - Le Boeuf, François, "Mathurin Jousse, maître serrurier à La Flèche et théoricien d'architecture (vers 1575-1645)". Disponible en <http://www.culture.fr/culture/inventai/extranet/revue/001/flb001.html>. Consultado el 2002.
 - Le Moël, Michel, "Jacques Curabelle et le monde des architectes parisiens", en *Desargues en son temps*, París, Blanchard, 1994, pp. 389-395.
 - López Mozo, Ana, "Las bóvedas de los sótanos de poniente del Monasterio del Escorial", en *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2000, pp. 615-621.
 - López Mozo, Ana, "Extradosed vaults in the Monastery of El Escorial: The domes at the church towers", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 1321-1326.
 - López Mozo, Ana, "Planar vaults in the Monastery of El Escorial", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 1327-1334.
 - Marías, Fernando, "La Escalera Imperial en España", en *L'escalier dans l'architecture de la Renaissance. Actes du colloque tenu à Tours du 22 au 26 mai 1979*, París, Picard, 1985, pp. 165-170.
 - Marías, Fernando, *El largo siglo XVI*, Madrid, Taurus, 1989.
 - Marías, Fernando, "El papel del arquitecto en la España del siglo XVI", en Jean Guillaume, *Les Chantiers de la Renaissance. Actes des colloques tenus a Tours en 1983-1984*, París, Picard, 1991, pp. 247-262.
 - Marías, Fernando, "Piedra y ladrillo en la arquitectura española del siglo XVI", en Jean Guillaume, *Les Chantiers de la Renaissance. Actes des colloques tenus a Tours en 1983-1984*, París, Picard, 1991, pp. 71-84.
 - Marías, Fernando, "Materiales y técnicas: viejos fundamentos para las categorías arquitectónicas del Quinientos", en *Primer Congreso de Historia del Arte Valenciano*, Valencia, Generalitat Valenciana, 1992, pp. 263-269.
 - Marías, Fernando, "Trazas, trazas, trazas. Tipos y funciones del diseño arquitectónico", en *Juan de Herrera y su influencia*, Santander, Universidad de Cantabria, 1992, pp. 351-360.
 - Martín, Fèlix, *Els picapedrers i la indústria de la pedra a la Floresta*, Barcelona, Fundació Salvador Vives Casajuana, 1981.
 - Miró Domínguez, Aurora, "El léxico de la construcción en un tratado de cantería del siglo XVI", en *Tiempo y espacio en el arte. Homenaje al profesor Antonio Bonet Correa*, Madrid, Universidad Complutense, 1994, pp. 647-663.
 - Mocchi, Giovanni, "The relationship between scientific knowledge and the building achievements. The evolution of stereotomy in the eighteenth and nineteenth centuries", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 1453-1461.
 - Moleón Gavilanes, Pedro, "El otro centro del laberinto. Consideraciones sobre el sotocoro del monasterio de El Escorial", *Arquitectura*, 69, 1984, pp. 35-38.
 - Morales, Alfredo J., *Hernán Ruiz "El Joven"*, Madrid, Akal, 1996.
 - Moreno, Arsenio, *El arquitecto Andrés de Vandelvira en Úbeda: una aproximación a la arquitectura del Renacimiento en la Alta Andalucía*, Úbeda, 1979.
 - Morresi, Manuela, "Philibert de L'Orme. Le patrie de

- la lingua", en Anthony Blunt, *Philibert de L'Orme*, Milán, Electa, 1997.
- Müller, Werner, "The authenticity of Guarini's Stereotomy in his *Architettura Civile*", *Journal of the Society of Architectural Historians*, XXVII, 1968, pp. 202-208.
 - Müller, Werner, "Le dessin technique a l'époque gothique", en *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*, Estrasburgo, Editions Les Musées de la Ville de Strasbourg, 1989, pp. 237-254.
 - Mussat, André, "La rivière et la carrière: l'exemple du Pays de Loire", en *Les Chantiers de la Renaissance. Actes des colloques tenus a Tours en 1983-1984*, París, Picard, 1991, pp. 11-26.
 - Navareño Mateos, Antonio y Francisco M. Sánchez Lomba, "Terminología técnico-artística en los maestros canteros del Renacimiento extremeño", en *Juan de Herrera y su influencia*, Santander, Universidad de Cantabria, 1992, pp. 143-146.
 - Navascués Palacio, Pedro, "El manuscrito de arquitectura de Hernán Ruiz el joven", *Archivo Español de Arte*, XLIV, 175, 1971, pp. 295-321.
 - Navascués Palacio, Pedro, "Estudio", en *El libro de arquitectura de Hernán Ruiz el Joven*, Madrid, Escuela de Arquitectura, 1974.
 - Navascués Palacio, Pedro, "La obra como espectáculo: el dibujo de Hatfield", en *Monasterio de El Escorial. Las casas reales (El palacio)*, Madrid, Patrimonio Nacional, 1986, pp. 55-67.
 - Ortega y Sagrista, Rafael, "La familia de Andrés de Vandelvira", *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, Sep - Dic, 1955, pp. 9-24.
 - Palacios Gonzalo, José Carlos, "La estereotomía en el Renacimiento. El Escorial", en *Fábricas y orden constructivo (La Construcción) IV Centenario del Monasterio del Escorial*, Madrid, Comunidad de Madrid, 1986, pp. 97-107.
 - Palacios Gonzalo, José Carlos, "La estereotomía de la esfera", *Arquitectura*, 267, 1987, pp. 54-65.
 - Palacios Gonzalo, José Carlos, *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento Español*, Madrid, Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, 1990. (2ª ed. Madrid, Munilla-Llería, 2003).
 - Palacios Gonzalo, José Carlos, "Las bóvedas de crucería españolas, ss. XV y XVI", en *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2000, pp. 743-750.
 - Palacios Gonzalo, José Carlos, "Spanish ribbed vaults in the 15th and 16th centuries", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 1547-1558.
 - Pernoud, Régine, "Villard, témoin de son temps", en *Carnet de Villard de Honnecourt*, París, Stock, 1986.
 - Pérouse de Montclos, Jean-Marie, "Alonso de Vandelvira", en Dora Wiebenson, ed. *Architectural Theory and Practice from Alberti to Ledoux*, Chicago, University of Chicago Press, 1982. (Catálogo de exposición en la Sterling Memorial Library de New Haven. Ed. esp. a cargo de Juan Antonio Ramírez, con trad. de Pilar Vázquez Álvarez, *Los tratados de Arquitectura*, Madrid, Blume, 1988.).
 - Pérouse de Montclos, Jean-Marie, *L'Architecture a la française*, París, Picard, 1982.
 - Pérouse de Montclos, Jean-Marie, "La vis de Saint-Gilles et l'escalier suspendu dans l'architecture française du XVIe. siècle", en *L'escalier dans l'architecture de la Renaissance. Actes du colloque tenu à Tours du 22 au 26 mai 1979*, París, Picard, 1985, pp. 83-92.
 - Pérouse de Montclos, Jean-Marie, "Présentation des traités", en Philibert de L'Orme, *Traité d'architecture*, París, Leonce Laget, 1988.
 - Pérouse de Montclos, Jean-Marie, *Histoire de l'Architecture française. De la Renaissance à la Révolution*, París, Menges-CNMHS, 1989.
 - Pevsner, Nikolaus, "The three-dimensional arch from the sixteenth to the eighteenth century", *Journal of the Society of Architectural Historians*, XVII, 4, 1958, pp. 22-24.
 - Pinto Puerto, Francisco, "El libro de cantería", en Hernán Ruiz II, *Libro de arquitectura*, Sevilla, Fundación Sevillana de Electricidad, 1998.
 - Pinto Puerto, Francisco, *Las esferas pétreas: Análisis de las soluciones del arte de la monte a en la provincia de Cádiz durante el siglo XVI*, tesis doctoral, Sevilla, 1998.
 - Pinto Puerto, Francisco, "La falsa apariencia. Las plementerías por hiladas redondas de las fábricas del Arzobispado Hispalense", en *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2000, pp. 827-839.
 - Pinto Puerto, Francisco, "Transformaciones. De la línea a la superficie", en *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2000, pp. 815-826.
 - Pinto Puerto, Francisco y Alfonso Jiménez Martín, "Monteas en la Catedral de Sevilla", *Revista de Ex-*

- presión Gráfica Arquitectónica*, 1, 1993, pp. 79-84.
- Pleguezuelo Hernández, Alfonso, "La Lonja de Mercaderes de Sevilla: de los proyectos a la ejecución", *Archivo Español de Arte*, 63, 249, 1990, pp. 13-41.
 - Potié, Philippe, *Philibert de L'Orme. Figures de la pensée constructive*, Marsella, Parenthèses, 1996.
 - Pretel Marín, Aurelio, *Alcazar en el siglo de Andrés de Vandelvira, el bachiller Sabuco y el preceptor Abril*, Albacete, Instituto de Estudios Albacetenses, 1999.
 - Rabasa Díaz, Enrique, "Los arcos oblicuos en la traza de cantería", *Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, II, 2, 1994, pp. 145-153.
 - Rabasa Díaz, Enrique, "Arcos esviados y puentes oblicuos. El pretexto de la estereotomía en el siglo XIX", *OP*, 38, 1996, pp. 18-29.
 - Rabasa Díaz, Enrique, "Técnicas góticas y renacentistas en el trazado y la talla de las bóvedas de cruceña españolas del siglo XVI", en *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1996, pp. 423-433.
 - Rabasa Díaz, Enrique, "La bóveda plana de Abeille en Lugo", en *Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1998, pp. 409-415.
 - Rabasa Díaz, Enrique, *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*, Madrid, Akal, 2000.
 - Rabasa Díaz, Enrique, "La Escuela de Arquitectura de Madrid recupera la piedra natural", *Menhir*, 2002.
 - Rabasa Díaz, Enrique, "La transmisión y el aprendizaje de la estereotomía de la piedra", *Ars sacra*, 22, 2002, pp. 92-101.
 - Rabasa Díaz, Enrique, "The single coursed ashlar vault", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 1679-1689.
 - Rabasa Díaz, Enrique, Miguel Ángel Alonso Rodríguez y Carlos Machín, "The external façade of the Monastery of El Escorial: Traces of a process", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 1669-1677.
 - Recht, Roland, "Les 'traités pratiques' d'architecture gothique", en Roland Recht, *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*, Estrasburgo, Editions Les Musées de la Ville de Strasbourg, 1989, pp. 279-285.
 - Recht, Roland, *Le dessin d'architecture. Origine et fonctions*, París, Adam Biro, 1995.
 - Rokiski Lázaro, María Luz, "La cabecera de la iglesia de Priego (Cuenca). Dibujos y tasación", *Cuenca*, 17, 1980, pp. 27-34.
 - Rosenthal, Earl E., *The Cathedral of Granada. A Study in the Spanish Renaissance*, Princeton, Princeton University Press, 1961. (Tr. española de Juan Santana Lario, *La Catedral de Granada*, Granada, Universidad).
 - Rosenthal, Earl E., *The Palace of Charles V in Granada*, Princeton, Princeton University Press, 1985. (Tr. española de Pilar Vázquez Álvarez, *El Palacio de Carlos V en Granada*, Madrid, Alianza Forma, 1988).
 - Ruiz de la Rosa, José Antonio, "El método de la cuadratura. Apreciaciones geométricas sobre el gótico", *Periferia*, 7, 1987, pp. 62-69.
 - Ruiz de la Rosa, José Antonio, *Traza y simetría de la arquitectura en la Antigüedad y el Medioevo*, Sevilla, Universidad de Sevilla, 1987.
 - Ruiz de la Rosa, José Antonio, "Giralda - Catedral gótica", en *Cuatro edificios sevillanos*, Sevilla, Colegio de Arquitectos, 1996, pp. 17-71.
 - Ruiz de la Rosa, José Antonio, "El libro de geometría", en Hernán Ruiz II, *Libro de arquitectura*, Sevilla, Fundación Sevillana de Electricidad, 1998.
 - Ruiz de la Rosa, José Antonio y Juan Clemente Rodríguez Estévez, "Monteas en las azoteas de la Catedral de Sevilla. Análisis de testimonios gráficos de su construcción", en *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2000, pp. 965-977.
 - Ruiz de la Rosa, José Antonio y Juan Clemente Rodríguez Estévez, "'Capilla redonda en vuelta redonda' (sic): Aplicación de una propuesta teórica renacentista para la catedral de Sevilla", en *IX Congreso Internacional Expresión Gráfica Arquitectónica. Re-visión: Enfoques en docencia e investigación*, Universidad de A Coruña, 2002, pp. 479-486.
 - Saint Aubin, Jean-Paul, "Les enjeux architecturaux de la didactique stéréotomique de Desargues", en *Desargues en son temps*, París, Blanchard, 1994, pp. 363-370.
 - Sakarovitch, Joël, "Le traité de Coupe des Pierres de Girard Desargues", en *Destin de l'art, desseins de la science*, París, Aderhem, 1991.
 - Sakarovitch, Joël, "La coupe des pierres et la géométrie descriptive", en Jean Dhombres, *L'Ecole Norma-*

- le de l'an II. Leçons de Mathématiques, Laplace-Lagrange-Monge*, París, Dunod, 1992, pp. 530-540.
- Sakarovitch, Joël, "Le fascicule de stéréotomie: entre savoir et métiers, la fonction de l'architecte", en *Desargues en son temps*, París, Blanchard, 1994, pp. 347-362.
 - Sakarovitch, Joël, "La géométrie descriptive, une reine déçue", en *La formation polytechnique 1794-1994*, París, Dunod, 1994, pp. 77-93.
 - Sakarovitch, Joël, "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 Patricia Radelet-de Grave y Edoardo Benvenuto, *Entre mécanique et architecture*, Basel - Boston - Berlin, Birkhäuser Verlag, 1995, pp. 204-218.
 - Sakarovitch, Joël, *Epures d'architecture*, Berlín-Basilea-Boston, Birkhäuser, 1997.
 - Sanabria, Sergio Luis, *The evolution and late transformations of the Gothic mensuration system*, tesis doctoral, Universidad de Princeton, 1984.
 - Sanabria, Sergio Luis, "From Gothic to Renaissance Stereotomy", *Technology and culture*, 30, 2, 1989, pp. 266-299.
 - Sanabria, Sergio Luis, "A Late Gothic Drawing of San Juan de los Reyes in Toledo at the Prado Museum in Madrid", *Journal of the Society of Architectural Historians*, 1992, pp. 161-173.
 - Sancho [De Soprani], Hipólito, "Los Vandelvira en Cádiz", *Archivo Español de Arte*, XXI, Ene - Mar, 1948, pp. 43-54.
 - Schöller, Wolfgang, "Le dessin d'architecture a l'époque gothique", en Roland Recht, *Les bâtisseurs des cathédrales gothiques*, Estrasburgo, Editions Les Musées de la Ville de Strasbourg, 1989, pp. 227-235.
 - Sené, Alain, "Un instrument de précision au service des artistes du Moyen Age: l'équerre", *Cahiers de civilisation médiévale*, 4, 1970, pp. 349-358.
 - Serra Desfils, Amadeo, "É cosa catalana: la Gran Sala de Castel Nuovo en el contexto mediterráneo", *Annali di architettura*, 12, 2000, pp. 7-16.
 - Shelby, Lon R., "Medieval mason's tools: the level and the plumb rule", *Technology and culture*, XXX, 1961, pp. 127-130.
 - Shelby, Lon R., "The Role of the master mason in Medieval English Buildings", *Speculum*, XXXIX, 3, 1964, pp. 387-403.
 - Shelby, Lon R., "Medieval mason's tools: compass and square", *Technology and culture*, VI, 1965, pp. 236-248.
 - Shelby, Lon R., "Setting out the keystones of Pointed Arches: A note on medieval 'Baugeometrie'", *Technology and culture*, X, 1969, pp. 537-548.
 - Shelby, Lon R., "The education of medieval english master masons", *Mediaeval Studies*, 1970, pp. 1-26.
 - Shelby, Lon R., "Medieval masons' templates", *Journal of the Society of Architectural Historians*, XXX, 1971, pp. 140-154.
 - Shelby, Lon R., "The geometrical knowledge of medieval master masons", *Speculum*, XLVII, 3, 1972, pp. 395-421.
 - Shelby, Lon R., "The 'secret' of the mediaeval masons", en Bert S. Hall y Delno C. West, eds. *On pre-modern technology and science. A volume of studies in honor of Lynn White, Jr.*, Malibu, Udena Publications, 1976.
 - Shelby, Lon R., "Introduction", en *Gothic Design Technics: The fifteenth-century design booklets of Mathes Roriczer and Hans Schmuttermayer*, Carbondale, Southern Illinois University Press, 1977.
 - Shelby, Lon R. y Robert Mark, "Late Gothic Structural Design in the "Instructions" of Lorenz Lechler", *Architectura*, 9, 12, 1979, pp. 113-131.
 - Simón [Díaz], José, "Fraudes en la construcción del antiguo Alcázar madrileño", *Archivo Español de Arte*, XVIII, 1945, pp. 347-359.
 - Swanson, Randy S., "Late XVIIth century practice of stereotomy prior to the establishment of Engineering Schools in France", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 1875-1885.
 - Tañ Guzmán, Miguel, "The drawings on stone in Galicia: Types, uses and meanings", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 1887-1898.
 - Tañ Guzmán, Miguel, "Las montees de la Catedral de Santiago de Compostela: de la arquitectura a la escultura", en *Correspondencia e Integración de las Artes. XIV Congreso Nacional de Historia del Arte, celebrado en Málaga entre los días 18 y 21 de septiembre de 2002*, 2003, pp. vol. 1, 509-522.
 - Tamboréro, Luc y Joël Sakarovitch, "The vault at Arles City Hall: A carpentry outline for a stone vault?",

- en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 1899-1907.
- Taton, René, *L'oeuvre mathématique de Desargues. Textes publiés et commentés, avec introduction biographique et historique. Thèse complémentaire pour le Doctorat ès Lettres, présentée à la Faculté des Lettres de l'Université de Paris*. París, PUF, 1951.
 - Toker, Franklin, "Gothic architecture by remote control: an illustrated building contract of 1340", *Art Bulletin*, LXVII, Mar, 1985, pp. 67-95.
 - Torres Balbás, Leopoldo, "Las teorías sobre la arquitectura gótica y las bóvedas de ojivas", *Las ciencias*, IV, 1939, pp. 223-233.
 - Torres Balbás, Leopoldo, "Función de nervios y ojivas en la arquitectura gótica", *Investigación y progreso*, 6-9, 1945, pp. 214-231.
 - Truant, Cynthia Maria, *The Rites of Labour: Brotherhoods of Companonage in Old and New Regime France*, Ithaca, Cornell University Press, 1995.
 - Uva, Giuseppina R., "Learning from traditional vaulted systems for the contemporary design. An updated reuse of flat vaults ...", en Santiago Huerta, ed., *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2003, pp. 2015-2021.
 - Velarde Lombraña, Julián, *Juan Caramuel, vida y obra*, Oviedo, Pentalfa, 1989.
 - Vera Botí, Alfredo, *La Torre de la Catedral de Murcia. De la teoría a los resultados*, Murcia, Academia Alfonso X, 1993.
 - Vera Botí, Alfredo et. al., *La catedral de Murcia y su Plan Director*, Murcia, Colegio de Arquitectos, 1994.
 - Vilella, Marzia, "Jacopo Torni detto l'Indaco (1476-1526) e la capella funebre 'a La Antigua' di Don Gil Rodríguez de Junterón nella cattedrale de Murcia", *Annali di architettura*, 10-11, 1998-1999, pp. 82-102.
 - Viollet le Duc, Eugène, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*, París,
 - B. Bauce, 1854. (Ed. París, 1979, F. de Nobele, 10 vol. Tr. esp. del artículo "Construction" de Enrique Rabasa, *La construcción medieval*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 1996).
 - Wethey, Harold E., "Escaleras del primer renacimiento español", *Archivo Español de Arte*, XXXVII, 148, 1964, pp. 295-305.
 - Whiteley, Mary, "'La grande vis': its development in France from the mid fourteenth to the mid fifteenth centuries", en *L'escalier dans l'architecture de la Renaissance. Actes du colloque tenu à Tours du 22 au 26 mai 1979*, París, Picard, 1985, pp. 15-20.
 - Wilkinson [Zerner], Catherine, "Building from drawings at the Escorial", en Jean Guillaume, *Les Chantiers de la Renaissance. Actes des colloques tenus a Tours en 1983-1984*, París, Picard, 1991, pp. 263-278.
 - Wilkinson Zerner, Catherine, *Juan de Herrera. Architect to Philip II of Spain*, New Haven, Yale University Press, 1993.
 - Willis, Robert, "On the construction of the vaults of the Middle Ages", *Transactions of the RIBA*, I, parte 2, 1842.
 - Zaragoza Catalán, Arturo, "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*, Valencia, Generalitat Valenciana, 1992, pp. 97-105.
 - Zaragoza Catalán, Arturo, "La Capilla Real del antiguo Monasterio de Predicadores de Valencia", en *La Capella Reial d'Alfons el Magnànim de l'antic monestir de predicadors de València*, Valencia, Conselleria de Cultura, 1997, pp. 14-59.
 - Zaragoza Catalán, Arturo, "Arquitecturas del gótico mediterráneo", en Eduard Mira y Arturo Zaragoza Catalán, eds., *Una arquitectura gòtica mediterrànea*, Valencia, Generalitat, 2003, pp. 105-191.
 - Zaragoza Catalán, Arturo y Joaquín Bérchez, *Iglesia Catedral Basílica Metropolitana de Santa María, Valencia*, Valencia, Conselleria de Cultura, 1997.