

## Bóvedas baídas en el ámbito castellano. La iglesia de Navamorcuende (Toledo)

Miguel Ángel Alonso Rodríguez  
José Calvo López

A finales de 1559 Pedro de Tolosa firmó el contrato y las condiciones para proseguir la cabecera de la Iglesia Santa María de la Nava de Navamorcuende, comprometiéndose a terminar de levantar los muros y cerrar la cabecera que había sido iniciada por maestros desconocidos que proyectaron hacerlo con una bóveda de crucería, pero las condiciones cambiaron y el contrato que tomó Tolosa especificaba que debería ser abovedada «sin crucería ninguna», y lo hizo con una bóveda baída por hiladas cuadradas.

La cabecera consta de un ábside ochavado de tres paños y un tramo recto de planta trapezoidal que tiene adosada la sacristía. La iglesia continúa en una sola nave de tres tramos; en el primero se abren dos capillas entre los contrafuertes; en el siguiente se sitúan, retranqueados, dos accesos laterales; el tercer tramo se abre al ancho de las capillas y en el se dispone el coro elevado. A los pies de la iglesia se sitúa un portal cubierto, que aloja el pórtico principal, flanqueado en el interior por dos capillas que son la base de las torres aunque solo una, la del lado del evangelio, llega a erigirse.

Pedro de Tolosa sólo intervino en la cabecera de la iglesia pero todas las bóvedas de la iglesia, excepto la de la sacristía que es anterior, ocho en total, se cierran con bóvedas baídas despiezadas por hiladas cuadradas (Gutiérrez Pulido 2009; ver también Marías 1983-1984 y Rodríguez Robledo 1994).

El procedimiento habitual en los tratados de canteoría para despiezar una bóveda baída por hiladas cuadradas es equivalente al de la bóveda esférica por hi-

ladas redondas y consiste en asimilar cada hilada a un cono y desarrollarlo para obtener la plantilla del intradós con la diferencia de que ahora las hiladas son el resultado de cortar la esfera por planos verticales y en consecuencia los conos son de eje horizontal, al igual que los lechos. El encuentro de las hiladas en las esquinas del cuadrado, que divide la superficie esférica en cuatro cascós, puede ser direc-



Figura 1  
Dovelas con ramales en la bóveda de la cabecera de la iglesia de Santa María de la Nava de Navamorcuende

tamente una sobre otra de forma alternada y se conoce como aparejo gualdrapeado, o mediante un sillar en forma de V de manera que cada brazo es de una hilada y se denomina en ramales, con la variante de que la V no tenga brazos y se transforme en una pieza romboidal. Alonso de Vandelvira (c. 1580) aplica este despiece arquetípico de la bóveda esférica al menos en seis títulos en los que la planta no es necesariamente cuadrada, lo que indica la versatilidad de este aparejo.

En este trabajo hemos estudiado la configuración geométrica y el despiece del intradós de las bóvedas de la Iglesia parroquial de Navamorcuende, a partir de un levantamiento riguroso, y lo hemos puesto en relación con los modelos ideales descritos en los tratados de cantería más próximos, en un esfuerzo por explicar su configuración constructiva, en particular, y la forma de construir las bóvedas despiezadas por hiladas cuadradas, en general.

#### LA BÓVEDA DE PLANTA TRAPEZIAL DE LA CABECERA

La bóveda baída de la cabecera esta limitada por cuatro arcos rebajados que tienen las claves dos a dos a la misma altura y que en planta definen un trapecio escaleno. Está rematada por un óculo, que en la actualidad se encuentra cegado, pero que debía alojar una linterna con cuatro ventanas según se estipula en

el contrato. Está despiezada por «hiladas cuadradas» y el óculo lo está de forma radial resolviéndose la transición mediante una hilada de sobrelecho «en cuadrado» y lecho «en redondo» con juntas quebradas, que arrancan perpendiculares al «cuadrado» y al círculo respectivamente. Vandelvira se detiene en explicar cómo obtener sus plantillas de intradós de estas piezas singulares al tratar de la *Capilla cuadrada artesonada*. La bóveda es una superficie continua salvo las dos últimas hiladas cuadradas, que se retranquean ligeramente formando dos escalones.

Las juntas entre hiladas son paralelas a los lados de la planta y están aplomadas en su mayoría, salvo en el cuartel de la cabecera, donde presentan algunas deformaciones debidas al empuje de los arcos del ochavo que remata la cabecera. El encuentro entre hiladas se resuelve con ramales, excepto en la primera, donde se dispone una pieza triangular cuya junta superior es horizontal, quizás porque el lecho de esta primera hilada sea un plano horizontal, como en los jarjamentos de tradición medieval. Los rincones de los ramales no están alineados según rectas y describen curvas ligeramente combadas, ordenadamente, hacia el eje longitudinal de la bóveda. Las juntas entre las dovelas de la misma hilada convergen en abanico hacia los ejes de los arcos perimetrales, como sucede en los despiezos por conos de eje horizontal.

Si bien a primera vista el intradós de la bóveda puede parecer esférico, un examen más detenido, a la

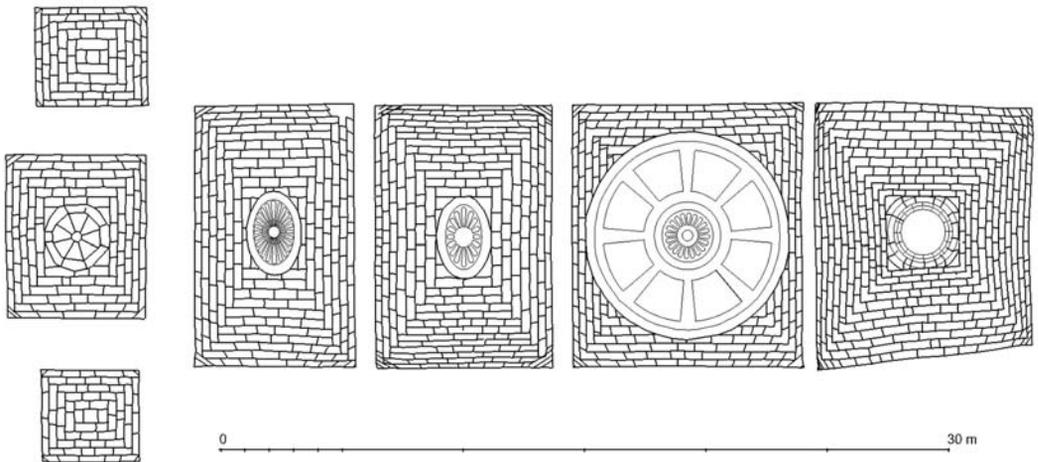


Figura 2  
Planta general de bóvedas de la iglesia de Santa María de la Nava de Navamorcuende

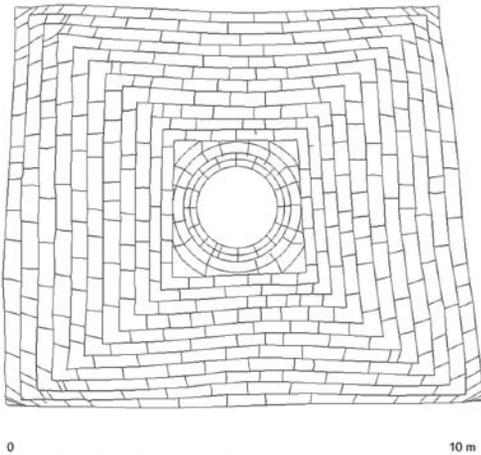


Figura 3  
Bóveda de la cabecera de la iglesia de Santa María de la Nava en Navamorcuende

luz del levantamiento, indica que los vértices de la planta no están dispuestos en una circunferencia y los arcos formeros y perpiaño no son secciones de una misma esfera, aun considerando las deformaciones que acusan los perpiaños, típicas de la separación de los apoyos de la bóveda; si atendemos a las secciones meridianas veremos que no son circulares sino mixtilíneas que constan de dos tramos, uno curvo correspondiente a las pechinas y otro casi recto que define el luquete o casquete superior de la bóveda, de manera que los rampantes parecen rectos, inclinados, y el luquete no difiere mucho de un cono de revolución, pero no circular sino ovalado, pues así lo son las secciones de la bóveda por planos horizontales.

En resumen, la bóveda de la cabecera no responde a los principios de una bóveda baída despiezada por hiladas cuadradas, tal como se describe en los tratados de cantería de la época, pero también es cierto que no es este el único aparejo por hiladas verticales que encontramos en esos mismos tratados.

Vandelvira (c. 1580, 57r-60r) emplea el aparejo de hiladas verticales así como dovelas con ramales, no sólo al tratar de bóvedas baídas, sino también en dos escaleras de planta cuadrada a las que les da el título de escaleras aduicidas, una con las zancas abovedadas y que en la otra son superficies alabeadas. Nos fijaremos en la primera, *Escalera aduicida en cercha*, cuyo intradós llama bóveda capialzada y también bó-

veda aduicida. Este despiezo resulta singular en el texto de Vandelvira pues la regla general de los trazados de bóvedas que contempla es la que consiste en descomponer la superficie en conos y desarrollarlos para obtener las plantillas del intradós y tallar las dovelas con los ángulos entre caras. Pero no es así, y lo que busca y obtiene, o más bien traza, son las cerchas de las hiladas del intradós de la escalera. Estas cerchas en planta son rectas paralelas a la caja de la escalera, y en las mesas el encuentro entre las hiladas perpendiculares de los tiros da lugar a piezas en ramales. Vandelvira establece una diferencia entre estos dos tipos de piezas basándose en su talla pues unas se obtendrán por robos y los ramales de las mesas por plantillas «porque los rincones no van engauchidos sino a borneo, se labran por plantas, mas salido de los rincones porque van los arcos engauchidos se han de trazar sus piedras por robos» (Vandelvira c. 1580, 58v).

Es decir, las dovelas con ramales de las mesas se pueden labrar empleando plantillas, puesto que los cuatro vértices son coplanarios. Esto no excluye que más adelante el cantero de forma cóncava al intradós de la dovela, como indica un pasaje donde Ginés Martínez de Aranda expone que «dichas plantas por caras se han de plantar teniendo labradas las caras de las piezas a regla y borneo y después se han de afondar las dovelas en las dichas caras» (Martínez de Aranda c. 1600, 105). Es decir, el cantero labraría en primer lugar una cara plana, desalabeando la piedra por medio de reglas y líneas visuales obtenidas guiñando un ojo o *borneando*, para darle después forma cóncava (Calvo 2000: 1-222; 2: 247-248; Rabasa 2000).

Por el contrario, en el resto de las dovelas los cuatro vértices no serán coplanarios, puesto que forman parte de un cuadrilátero alabeado o *engauchido* y por tanto no se pueden labrar empleando plantillas; es necesario recurrir a la labra empleando proyecciones ortogonales de cada dovela en planta y alzado, o *labra por robos*, lo que lleva a Vandelvira a girar los tiros para mostrarlos en verdadera magnitud y en la posición que permita obtener con más facilidad el perfil de la pieza.

Vandelvira al comienzo de su exposición señala la dificultad que tiene explicar ciertas piezas de cantería entre ellas algunas escaleras y para esta, en concreto, empleará dos títulos uno para el trazado de las cerchas de cada hilada y el segundo para la obtención de

las piezas en esquina. La forma de representación también es singular pues incluye una planta y el alzado, o lo que parece que es el alzado y que en realidad es la sección por el plano de las cerchas exentas de cada uno de los tramos sucesivamente yuxtapuestos (Rabasa 2000; Calvo 2009; Carvajal 2011). En estas secciones se ve en alzado las cerchas exentas con sus dovelas representadas por su dimensión mayor, el largo, y en la parte propiamente seccionada las tres hiladas representadas por el ancho de las dovelas. Tanto en alzado como en sección están representadas las juntas entre dovelas o entre hiladas, según el caso, que aparecen inclinadas y normales a sus cerchas indicando como las hiladas tienen los lechos inclinados. Del tratado de Vandelvira se han conservado dos copias, una en la Escuela de Arquitectura de Madrid y otra debida a Felipe Lazaro de Goiti en la Biblioteca Nacional de Madrid, más cuidada y se piensa que estaba a punto para la edición (San Nicolás 1663, 155; Barbé-Coquelin de Lisle 1977); y es en esta copia donde se refleja con más claridad la disposición de las dovelas tanto en alzado como en sección.

No es este el único caso en el que Vandelvira hace mención o se refiere al trazado por cerchas o a las cerchas mismas. Resulta paradójico pero una de ellas es cuando se ocupa de la *Capilla redonda en vuelta redonda* que puede ser tomado como paradigma de los despiezos por desarrollo de conos, del trazado por plantillas, del despiezo por superficies. Y no lo hace en el *Título LXXIV: Capilla redonda en vuelta redonda* sino en el capítulo siguiente *Razón y discreción de la capilla redonda en vuelta esférica*. Lo hará, entre otras razones, porque algunos «curiosos» le han preguntado que como siendo diferente la cercha de las plantillas a la de las juntas entre hiladas «pueden acudir en obra sin que hagan mala consonancia» (Vandelvira c. 1580, 61v). Quiere esto decir que en aquel momento las bóvedas esféricas por hiladas redondas también se estaban construyendo a partir de las cerchas de las juntas entre hiladas, por líneas, por aristas, y de aquí la contradicción que para algunos autores existen entre la cercha de las juntas de hiladas que ellos conocían y estaban empleando y las de las plantillas, el procedimiento sin duda novedoso que describe Vandelvira.

Otra ocasión en la que encontramos en el tratado de Vandelvira una referencia similar a la anterior, a las cerchas de las juntas entre hiladas, es cuando ex-

plica la traza de la *Capilla cuadrada artesonada*, es decir, la bóveda baída por hiladas cuadrada dividida en compartimentos. Dedicar a esta bóveda cuatro láminas, y en la tercera por «si se quiere saber las cerchas que por su monte hacen estas hiladas por sus vivos» obtiene todas las cerchas de las juntas entre hiladas en dimensión real, que siendo de planta cuadrada son iguales en los cuatro lados. Vandelvira se detiene en explicar la obtención de todas las cerchas cuando en casos similares cuando una misma construcción se debe aplicar de forma reiterada habitualmente emplea la fórmula de «por esta entenderás todas las demás». Y es en esta la ocasión en la que Vandelvira se refiere a las hiladas cuadradas como capialzados, «y estas son las cerchas de los capialzos de las hiladas que responden al cuadrado» (Vandelvira c. 1580, 112v).

La traza siguiente en la que explica la *Capilla perlongada artesonada*, la bóveda baída perlongada por hiladas cuadradas, le ocupa también cuatro laminas y en la tercera obtiene de nuevo todas las cerchas de todas las juntas entre hiladas que siendo de planta rectangular difieren según sean paralelas a un lado o a otro.

El procedimiento no tan claro como podría ser, en especial en este último caso, se basa en el giro de los arcos alrededor de ejes verticales hasta situarlos frontalmente que recuerdan a los empleados en los trazados de las bóvedas de crucería, característico de los trazados medievales.

Todo ello nos permite entender que había otro procedimiento para la construcción de una bóveda por hiladas cuadradas diferente al que explica Vandelvira a partir del desarrollo de una superficie cónica y que estaba basado en la definición de las cerchas de las juntas entre hiladas. Según este procedimiento podemos entender las hiladas cuadradas como arcos capialzados, que también conduce a juntas entre dovelas de la misma hilada que convergen en el eje de la bóveda, si dividimos las cerchas en partes iguales.

#### LAS BÓVEDAS DE LA NAVE

El primero de los tres tramos de la nave de la Iglesia de Navamorcuende, que por sus dimensiones y posición corresponde al transepto, es de planta sensiblemente rectangular y está cubierto por una bóveda baída que combina hiladas cuadradas y redondas.

Comienza despiezada por hiladas cuadradas, llegando a completar tan solo dos y continúa por hiladas redondas que forman un casquete, que ocupa más de la mitad de la superficie de la bóveda, tratado con ocho resaltes coronado por un florón y rematado por una clave pinjante. No hay transición entre un tipo y otro tipo de hilada y cuadradas se recortan directamente sobre la junta viva de la primera hilada redonda. Los formeros y los perpiaños son de medio punto, aunque estos últimos acusan deformaciones por separación de sus apoyos. Los encuentros entre hiladas cuadradas se resuelven en su gran mayoría mediante aparejo gualdrapeado; es significativo comprobar que se han pintado en muchos casos juntas falsas, que simulan dovelas con ramales, sin duda para igualar el aspecto de esta bóveda a la anterior. Como excepción, en la primera hilada se emplea un sillar cuya junta superior es horizontal, al modo que vimos en la bóveda de la cabecera. Los rincones de los ramales están alineados según las diagonales del rectángulo de la planta y las juntas entre las dovelas de la misma hilada convergen hacia los ejes de los arcos perimetrales, como sucede en los despiezos por conos de eje horizontal.

Las isolíneas de la bóveda son circulares, así como las secciones meridianas, de modo que parece correcto considerar que su intradós es una superficie

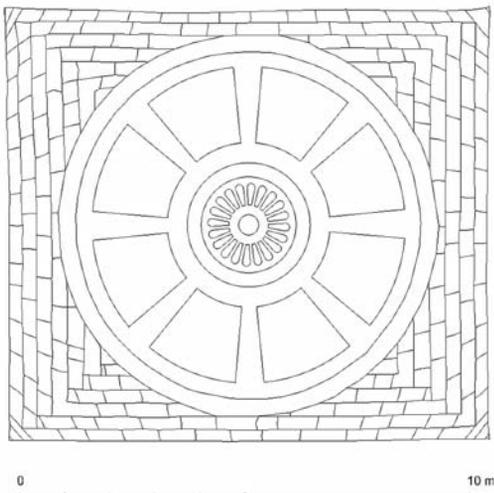


Figura 4  
Primera bóveda de la nave de la iglesia de Santa María de la Nava de Navamorcuede



Figura 5  
Dovelas de la primera bóveda de la nave de la iglesia de Navamorcuede, con aparejo gualdrapeado y ramales simulados

esférica que tiene por sección máxima horizontal la circunferencia circunscrita a la planta y que los arcos perimetrales son las correspondientes secciones de esta esfera. Puede muy bien tratarse de una bóveda baída despiezada tal como describe Vandelvira cuando trata la capilla prolongada por hiladas cuadradas, sin olvidar que más de la mitad de la bóveda corresponde al rosetón central que esta despiezado por hiladas redondas.

Los dos tramos de los pies de la iglesia son de planta rectangular y aunque no son iguales, el que está sobre el coro es un poco más corto, la forma de abovedamiento es la misma, bóvedas baídas despiezadas por hiladas cuadradas, trazadas de tal modo que el número de hiladas que siguen la orientación de los perpiaños se aproxima al doble de las hiladas paralelas a los formeros, y de esta forma se consigue que el ancho de las hiladas en una dirección y otra sea similar, a pesar de la diferencia de longitudes entre los lados de la planta. Los formeros y perpiaños son de medio punto y el encuentro entre hiladas se resuelve por gualdrapeado, de tal forma que dos hiladas paralelas a los formeros entestan contra una de las que siguen la dirección de los perpiaños; de esta manera, la línea que une las esquinas de las dovelas se sitúa sobre las diagonales de la imposta. De nue-

vo, las primeras hiladas se encuentran sobre un sillar cuya junta superior es horizontal, quizá porque el lecho también lo sea al modo de los jarjamentos. Las juntas entre las dovelas de la misma hilada convergen aproximadamente en abanico hacia los ejes de la planta. Ambas bóvedas están coronadas por un medallón elíptico, despiezado de forma radial, en cuyo perímetro curvo se recortan las hiladas cuadradas. Así pues en la parte más alta de la bóveda se prescindiría del despiece por hiladas verticales quizás debido a que de acuerdo con el método de los conos de eje horizontal serían estas hiladas más altas las que tendrían el vértice más alejado y en consecuencia más difícil de definir sus cerchas, y suprimiéndolas se evita el problema.

Si atendemos a las secciones meridianas veremos, al hacerlas coincidir por giro, que en su conjunto describen media circunferencia que se ajusta a la que definen los cuatro vértices del rectángulo de la planta. Por todo ello podemos pensar que estamos ante dos bóvedas baidas, esféricas, cuyo despiece por hiladas cuadradas puede haber sido obtenido mediante el método de desarrollo de los conos de eje horizontal que hemos visto expuesto en el manuscrito de Vandelvira (c. 1580, 83v; ver también Guardia c. 1600) si bien no el caso de número doble de hiladas ni encuentros gualdrapedos.

Un arco capialzado cubre un vano con una cabeza más alta que la otra, su intradós es la superficie tendida entre dos arcos que no siendo iguales uno es más alto que el otro. Planteadas las hiladas cuadradas de esta manera serían el arco capialzado tendido entre dos juntas de hiladas consecutivas. El despiece del arco capialzado lo podemos encontrar en los tratados de cantería de la época. Vandelvira emplea en cuatro ocasiones el término «arco capialzado» pero no lo explica; por el contrario, Ginés Martínez de Aranda trata entre otros el *Arco capialzado* como caso general, ofreciendo soluciones por plantillas y mediante labra por robos, y el *Arco capialzado hacia la menor subida*, un antecedente del capialzado de Marsella con las jambas paralelas, que también resuelve por dos métodos diferentes, mediante plantillas y empleando proyecciones ortogonales. Se puede apreciar la dificultad que entraña un procedimiento y otro a la vista de los errores que comete Martínez de Aranda a la hora de construir las plantillas; si bien este método ahorra una cantidad importante de material, el método basado en proyecciones ortogonales

es conceptualmente y en la práctica más sencillo (Vandelvira c. 1580, 58v, 61v, 111r; Martínez de Aranda, 40-46, 81-85; Calvo 2000, 2: 207-208).

Se ha señalado, en ocasiones, que un capialzado no queda definido por solo dos directrices y en necesario una condición adicional para establecer la situación de las diversas posiciones de las generatrices; dividir las directrices en parte iguales, dividir las por un haz de planos o que las generatrices se mantengan paralelas a un plano son diversas maneras de despiezar un capialzado que es posible encontrar en la teoría y en la práctica. En la gran mayoría de los capialzados y arcos capialzados expuestos por Vandelvira y Aranda encontramos juntas convergentes, por lo general resultado de dividir las testas en partes iguales, pero existen algunas excepciones. Lo que hace Martínez de Aranda en los dos primeros *Arcos capialzados* es dividir las directrices que están en planos paralelos por un haz de planos que pasan por un eje perpendicular al plano de los arcos. Esto hace que las juntas en planta sean convergentes, pero obtendríamos un resultado similar dividiendo las directrices en partes iguales. Por el contrario, el *Capialzado hacia la menor subida* de Ginés Martínez de Aranda tiene las jambas paralelas, como hemos visto y, naturalmente, las juntas de lecho se disponen en planos verticales paralelos a las impostas. Alonso de Guardia (c. 1600) va más lejos, pues presenta en la misma página dos capialzados con jambas convergentes; en uno de ellos las juntas de lecho son también convergentes, pero en otro las juntas se disponen en planos verticales perpendiculares a las testas. Esta última solución se puede encontrar en la práctica en algunas raras ocasiones.

Volviendo a las dos bóvedas de los pies de la nave, se puede apreciar convergencia de juntas entre dovelas de la misma hilada en las primeras hiladas pero no en las más altas. Ahora bien también debemos de pensar que cuanto más próximas son las longitudes de los arcos entre los que se tiende la superficie la convergencia es menor, y es lo que sucede en los arcos de las juntas según ascienden. Cuando dividimos las directrices por un haz de planos que pasan por un eje perpendicular al plano de los arcos los lechos serían planos convergentes en el eje, pero también podría estar resuelto dividiendo las directrices por planos verticales perpendiculares a las testas; como hemos visto, existe un esquema en los apuntes de Alonso de Guardia que emplea este método (c.

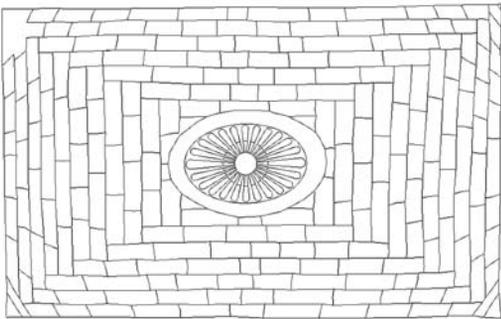
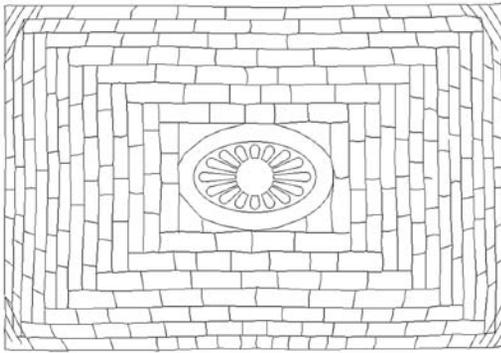


Figura 6  
Bóvedas de los pies de la nave de la iglesia de Santa María de la Nava de Navamorcuede

1600). Planteadas las hiladas cuadradas de esta manera, como arcos capialzados, no existiría una pieza de esquina ni una pieza en ramales, sería simplemente el salmer del arco capialzado.

#### LA BÓVEDA DEL CORO

La tribuna del coro fue lo último que se edificó, una vez cerrada la iglesia y construida la torre. La obra fue contratada en 1702 a Mateo Díaz Bungalés y Francisco Bolaño, y una vez levantada aparecieron grietas y en la intervención que entonces se realizó se le añadieron las dos trompas existentes en los extremos frontales, quedando concluida la tribuna en junio de 1705. Probablemente los esfuerzos horizontales de la bóveda sobre el arco que se abre a la nave fueron la causa de las grietas y las trompas se añadie-

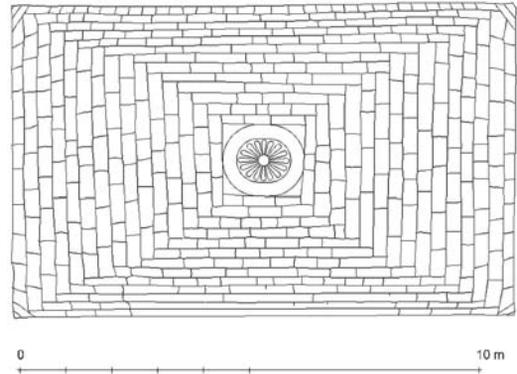


Figura 7  
Bóveda del coro de la iglesia de Santa María de la Nave de Navamorcuede

ron para transmitirlos a los muros laterales (Gutiérrez Pulido 2009).

Se trata de una bóveda rebajada de planta rectangular que tiene por embocaduras arcos oblongos, carponeles o elípticos, y está despiezada por hiladas cuadradas y coronada por un tarjetón rectangular decorado con un falso óvalo que recuerda a los rosetones que encontramos en las bóvedas analizadas pero en este caso despiezado por juntas paralelas a los lados, no radiales; se ha podido medir el grosor de la tribuna en este punto y es de 35 cm.

El ancho de las hiladas es diferente en cada dirección y los encuentros se resuelven mediante aparejo gualdrapedo de una hilada contra otra salvo en los riñones de la bóveda, en esta zona en cada hilada paralela a los perpiaños apoyan dos que siguen la dirección de los formeros. Por tanto los rincones describen un línea quebrada que en sus tramos extremos es paralela a las diagonales de la planta; y como en las bóvedas anteriores el encuentro de la primera hilada en cada dirección se produce sobre un sillar cuya junta superior es horizontal.

Como ya se ha señalado la primera tribuna que se edificó hubo que rehacerla. Si analizamos la forma de la bóveda a partir de los puntos medidos con estación podemos comprobar que el triangulo de hiladas correspondientes al arco que da a la nave central presenta apreciables deformaciones y el resto no, lo que nos hace pensar que fue en esta zona en la que hubie-

ron de intervenir, lo que explica que este arco tenga ligeramente más flecha que el opuesto, el de la entrada. En el resto de la bóveda no encontramos anomalías notables y podemos reconocer que las secciones meridianas por los planos de las diagonales no son arcos rebajados ni arcos apuntados son medios arcos oblongos, elipses u óvalos, cuyas tangentes en los arranques son verticales y cuyos semiejes se puede estimar que mide uno el doble que el otro.

Surge entonces la cuestión de si los arcos perimetrales y los diagonales son secciones planas de un elipsoide y se comprueba que se ajustan, con suficiente aproximación, a las de un elipsoide escaleno de ejes 6,4, 10,3 y 14,0 m., equivalentes a 23, 37 y 50,25 pies castellanos, considerando un pie castellano de 0,279 m. La pregunta, ahora, es si la bóveda de la tribuna del coro es una bóveda baída elipsoidal, esto es si los puntos de la bóveda están sobre aquel elipsoide, y para responder a esta cuestión seccionamos el elipsoide por planos perpendiculares a sus ejes horizontales, y comprobamos que las elipses resultantes se ajustan razonablemente, con errores inferiores a 5 cm, a las juntas de las hiladas cuadradas de la bóveda.

Podría tratarse por tanto de una bóveda elipsoidal despiezada por hiladas cuadradas, pues si bien los arcos perimetrales cortos no se adaptan perfectamente a una elipse, al no ser estrictamente simétricos quizá debido a alguna deformación, el arco que da a la nave no es igual que el de los pies, tiene un poco más de flecha quizá porque se rehizo o reforzó, la bóveda presenta deformaciones en el casco que se abre a la nave detectándose una cierta elevación de los puntos próximos al arco que tiene más flecha y hay una zona hundida en la parte alta de este casco, a pesar de todo ello, en su conjunto, la bóveda de la tribuna del coro se ajusta a una bóveda elipsoidal, con ciertas deformaciones y errores o problemas constructivos o de replanteo, aunque también pudiera tratarse de una bóveda generada a partir de tres arcos carpaneles.

Enrique Rabasa (2000; ver también Huerta 2007, que adopta un punto de vista diferente) explicó ya claramente que la estereotomía de la bóveda elipsoidal por hiladas horizontales, aunque pueda parecer una simple elongación de una media naranja es un ejercicio complejo y dificultoso. En una media naranja las dovelas de una misma hilada son iguales, con la misma altura y los lechos son conos de revolución que siempre encuentran ortogonalmente a las

esfera; en cambio en el elipsoide despiezado por hiladas horizontales resultarían de espesor continuamente variable y en consecuencia tendrían todas las piezas diferentes, si no fuera por las simetrías, y los lechos serían conos elípticos y en consecuencia la inclinación de sus generatrices sería también variable.

Si las ventajas que ofrece el aparejo de una bóveda esférica por hiladas redondas se extiende al despiece por hiladas cuadradas, de la misma manera las dificultades que se producen en la bóveda oval de hiladas horizontales se repetirán cuando esta pieza se divide por hiladas cuadradas.

Quizá por ello se han llegado a plantear diferentes opciones para la estereotomía de la bóveda elipsoidal pero ninguna de ellas resulta completamente satisfactoria, lo que nos induce a pensar si en nuestro caso se pudo seguir un procedimiento distinto al que se basa en el desarrollo de los conos.

En el tratado de Vandelvira (c. 1580, 112v; ver también Senent 2011), casi al final, en el título 140, se explica el despiece de una capilla, o lo que es lo mismo de una bóveda, ya que en siglo XVI capilla tiene el significado de bóveda, cuya planta es un rombo formado por dos triángulos equiláteros, denominada *Rombo igual*. Pero antes se refiere a la figura de las plantas, y diferencia entre regulares e irregulares siendo las primeras aquellas en las que se puede trazar un circunferencia por sus vértices e irregulares en las que no. Dice haberse ocupado bastante de las regulares y que tratara ahora de las irregulares, «alguna cosa». De forma análogo diferencia entre capilla, o bóveda de acuerdo con el significado de la época, regular e irregular según se cierre en esfera o no. Señala además que cuando una capilla no se puede cerrar en esfera es necesario buscarle cerchas, cortes por planos, de tal manera aduclidas que imiten todo lo que fuera posible a la vuelta de horno. Aduclir es construir una curva que pasa por una serie de puntos asimilándola a uno o varios arcos de circunferencia, trazados uniendo los puntos de tres en tres mediante el compas, a mano o incluso ayudándose de un listón o una regla flexible. Así pues cuando una bóveda irregular no es esférica, se debe considerar formada por curvas compuestas por arcos, preferentemente circulares.

Y esto es lo que hace en la última bóveda que explica, en el Título 141, *Rombo desigual*, que tiene por planta un romboide, cuyo aparejo es por hiladas cuadradas. El procedimiento que propone consiste en

trazar primero los arcos perimetrales, el menor de medio punto y el mayor elíptico con la misma flecha, a continuación los rampantes y finalmente los cruceros sin indicar en ningún caso como define la altura de la clave de la bóveda. El sistema de dibujo que emplea es la planta y en la parte superior traza las curvas reales de los arcos a partir los datos de la planta; tenemos de nuevo un conjunto de arcos en su magnitud real, trazados a partir del giro alrededor de ejes verticales, que no conservan su posición relativa y que recuerdan a los trazados medievales. Emplea dos proyecciones verticales en la misma lámina, una para los arcos y otra para las cerchas de las hiladas, y es una de las pocas láminas en la que no le basta con un dibujo y recurre a dos.

En el dibujo de Vandelvira vemos que el arco perimetral de mayor flecha y los dos cruceros son rigurosas elipses trazadas por el método de los ejes. Las tres tienen el mismo centro, aun cuando no es esa su posición relativa pero esto le permite simplificar el dibujo al aprovechar ciertas construcciones gráficas comunes a las tres. Para dibujarlas divide la media circunferencia de diámetro el eje mayor de cada una en doce partes iguales de 15° cada una, empleando la misma radiación para las tres, y obtiene trece puntos de las elipses que traza aduiciéndola por estos puntos. Vandelvira en otra ocasión se refiere a que se sacaran aduiciéndolas de tres en tres puntos. Llama la atención comprobar que Vandelvira realiza muchos tanteos y al final traza la curva con tres arcos de manera similar a un óvalo.

En cualquier caso divide, en planta, la bóveda en seis hiladas paralelas a los lados que cortan a los rampantes y cruceros en tres puntos que subidos a los arcos en verdadera magnitud le permitirán dibujar las cerchas de la hiladas aduiciéndolas de los tres puntos, «sabidas sus cerchas de los arcos rampantes y cruceros resta sacar por ellas las cerchas de las hiladas, las cuales se sacan teniendo cuenta en qué altura se hallan estas líneas cuando hieren en el arco y crucero y rampante y tomando sus desvíos y alturas se sacarán aduiciéndolas de tres en tres puntos» (Vandelvira c. 1580, 125v).

Con estos datos indica que es fácil obtener las plantillas del intradós de las dovelas por el método del desarrollo de los conos definidos por las juntas de dos hiladas consecutivas para labrarlas a borneo, esto es por el método directo a partir de las plantillas. Pero los conos a los que se refiere no son de revolu-

ción y por tanto fácilmente desarrollables y los que traza no son los que propone en el texto. La exposición de Vandelvira es equívoca en relación a la obtención de la plantillas del intradós de las dovelas, pero en cambio es bastante precisa en lo que se refiere al trazado de las cerchas de las hiladas, que es la base del método de los robos entendiendo las hiladas como arcos capialzados

Los principios del aparejo que describe Vandelvira en este título, con todo su alcance y sus limitaciones, los aplica a una planta en romboide pero se podría generalizar sin ningún inconveniente y emplearlos para una bóveda baída de planta rectangular con arcos perimetrales elíptico, u ovals, con diferente flecha, y bastaría con establecer la altura de la clave y trazar los cruceros y los rampantes para dibujar las hiladas en planta y trazar en la proyección vertical sus cerchas. Se tendrían todos los datos para tallar las hiladas cuadradas que conforman la bóveda entendidas como arcos capialzados.

La bóveda de la tribuna de la iglesia de Navamorcuende encuentra de esta manera una forma razonable de ser construida, una hipótesis sobre su construcción acorde con los procedimientos de la época, lo mismo que la bóveda de la cabecera. El procedimiento de talla no sería el directo sino por líneas, al modo medieval. El resultado no sería una superficie elipsoidal ni una superficie esférica pues los arcos aduicidos no son ni lo uno ni lo otro pero se aproximan en cualquier caso. Los principios del procedimiento que ha descrito Vandelvira explican la versatilidad del despiece por hiladas cuadradas que encontramos sancionada por la práctica constructiva de las bóvedas baídas por hiladas cuadradas que nos han llegado.

#### NOTA

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto de Investigación «Construcción en piedra de cantería en los ámbitos mediterráneo y atlántico. Análisis de ejemplos construidos» (BIA2009-14350) del Plan Nacional de I+D+i, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Se han modernizado las transcripciones de los manuscritos de Alonso de Vandelvira y de Ginés Martínez de Aranda con objeto de facilitar su lectura.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Barbé-Coquelin de Lisle, Geneviève. 1977. «Introducción». En *Tratado de arquitectura de Alonso de Vandelvira*, 1-37. Albacete: Caja de Ahorros Provincial.
- Calvo López, José. 2000. «Cerramientos y trazas de montea» de Ginés Martínez de Aranda. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- Calvo López, José. 2009. «La literatura de la cantería. Una visión sintética». En *El arte de la piedra*, 99-154. Madrid: CEU Ediciones.
- Carvajal, Rocío. 2011. «Stairs in the Architecture Notebook of Juan de Portor y Castro: An Insight into Ruled Surfaces». *Nexus Network Journal*, 13, en prensa.
- Choisy, Auguste. 1883. *L'art de bâtir chez les bizantins*. Paris: Librairie de la Société Anonyme de Publications Périodiques.
- Guardia, Alonso de. 1600 c. «Manuscrito de arquitectura y cantería». Anotaciones sobre una copia de Battista Pittoni, *Imprese di diversi principi, duchi, signori ...*, Libro II, Venecia, 1566. ER/4196. Biblioteca Nacional, Madrid.
- Gutiérrez Pulido, David. 2009. *Pedro de Tolosa, maestro de cantería del siglo XVI, en la Sierra de San Vicente (Toledo)*. Talavera de la Reina: Ayuntamiento de Talavera de la Reina.
- Huerta Fernández, Santiago. 2007. *Oval Domes: History, Geometry and Mechanics*. *Nexus Network Journal*. 9: 211-248.
- Mariás, Fernando. 1983-86. *La arquitectura del Renacimiento en Toledo (1541-1631)*. Toledo: Instituto Provincial de Investigaciones y Estudios Toledanos.
- Martínez de Aranda, Ginés. 1600 c. «Cerramientos y trazas de montea». Madrid, Biblioteca del Servicio Histórico del Ejército.
- Portor y Castro, Juan de. 1708. «Cuaderno de arquitectura». Madrid, Biblioteca Nacional de España, Ms. 9114 .
- Rabasa Díaz, Enrique. 2000. *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*. Madrid: Akal.
- Rodríguez Robledo, Piedad. 1994. *Pedro de Tolosa, primer aparejador de cantería de El Escorial*. Madrid: Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos.
- San Nicolás, Fray Laurencio de. 1639. *Arte y uso de Arquitectura*. S. l., Imprenta de Juan Sánchez.
- Senent Domínguez, Rosa. 2011. «Las bóvedas irregulares del tratado de Vandelvira. Estrategias góticas en cantería renacentista». En *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, en prensa.
- Vandelvira, Alonso de. 1585 c. *Libro de trazas de cortes de piedras*. Biblioteca de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Existe una copia parcial, por Felipe Lázaro de Goiti. Madrid, Biblioteca Nacional de España, Ms. 12719.