

Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Cádiz, 27-29 enero 2005, ed. S. Huerta, Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, Arquitectos de Cádiz, COAAT Cádiz, 2005.

Las bóvedas de crucería rebajadas: criterios de diseño y construcción

José Carlos Palacios Gonzalo

Las bóvedas de crucería, lejos de desaparecer con la llegada del Renacimiento, conocieron un enorme desarrollo en casi todos los países de Europa. En España concretamente, estas bóvedas de tradición medieval, convivieron a lo largo de los siglos XV y XVI junto a la arquitectura clásica; algunos arquitectos incluso, llegaron a practicar indistinta y simultáneamente ambas concepciones de la arquitectura.

Concebir y realizar un edificio «a lo romano» significaba atenerse a los cánones clásicos del Renacimiento. Frente a esta arquitectura, lo largo de los siglos XV y XVI, existía la posibilidad a de concebir el edificio «a lo moderno» si, por el contrario, se acometía el diseño de éste siguiendo pautas góticas tradicionales. Al pensar, más concretamente, en la realización de sus bóvedas, el rigor del diseño clásico impondría un cúpula esférica o alguna bóveda de cañón o de planta cuadrada, ya sea en rincón de claustro o por aristas, todas ellas perfectamente acordes con los principios vitruvianos. Construir esas mismas bóvedas, en términos más tradicionales nos hubiera llevado a concebirla mediante el nervio y plementos.

Cabría por tanto preguntarse la razón que justifica esa calificación de «moderna» que los arquitectos góticos del Renacimiento daban a sus bóvedas. Para responder a esta pregunta, no solamente hemos de ser conscientes de la enorme distancia temporal que separa las primeras bóvedas góticas francesas del XII y XIII con las que se construían durante los siglos XV y XVI, además, son profundamente diferen-

tes, no solo por su complejo diseño de claves y crucerías, sino también por su concepción espacial y geométrica.

Tres siglos más tarde de la construcción de las bóvedas sexpartitas de Nôtre Dame en París, la bóveda ojival ha alcanzado un nivel de ligereza, elegancia y economía que, para los arquitectos que las construían, significaban algo radicalmente nuevo y moderno, con escasas vinculaciones con aquellas pesadas carcacas pétreas del primer gótico. Desafortunadamente todo este tipo de abovedamientos, tildado de ecléctico y manierista ante el gótico clásico francés, ha recibido escaso interés cuando no, un menosprecio injustificado.

Este artículo pretende adentrarse en el conocimiento de este tipo de bóvedas con el análisis de dos modelos que, a nuestro juicio, ponen de manifiesto la gran habilidad constructiva alcanzada por las bóvedas de crucería en la resolución de un problema clásico: la bóveda rebajada o bóvedas planas.

Las bóvedas rebajadas tuvieron en España un gran desarrollo con la introducción de una tipología de iglesia conventual netamente española. El coro que en las catedrales españolas ocupaba la parte central de la nave principal, y que en la mayor parte de las iglesias europeas se situaba en el presbiterio, va a encontrar, en este tipo de iglesias, un nuevo lugar de acomodo a los pies de la nave central, sobre una tribuna elevada bajo la cual se accede a la iglesia. Este plano horizontal, generalmente de considerables dimensiones, era soportado por una serie de bóvedas

que debían de ser rebajadas al objeto de no elevar excesivamente este nivel y permitir la comunicación visual entre esta plataforma elevada sobre el piecero y el altar mayor.

Examinaremos en esta ponencia dos ejemplos concretos de este tipo de bóvedas, profundizando en sus aspectos geométricos y constructivos. Veremos con detalle las bóvedas que soportan el coro del convento del real monasterio de San Jerónimo de Madrid, un obra que podríamos considerar adscrita a la escuela toledana de Juan Guas (foto 1) llevada a cabo a finales del XV, y las bóvedas bajo el coro de la iglesia conventual de San Marcos en León atribuidas al arquitecto Juan de Álava (foto 2) comenzadas en 1531.

EL DISEÑO DE LA CRUCERÍA

Comparemos en primer lugar los croquis que se muestran en las figuras 1 a y b, en ellos, sobre el di-

bujo de sus crucerías, hemos superpuesto la trama geométrica subyacente que ordena y hace posible la traza de su planta. Se trata, en ambos casos, de dos plantas rectangulares de unas dimensiones próximas a los 11m. para el lado mayor y 7 metros el lado más pequeño, sus dimensiones exactas se atienen con exactitud a una proporción entre los lados de 2 a 3 lo que en España era conocido como un rectángulo *sesquiáltero*; este rectángulo permite extender sobre él una trama de regular de 6x4 que permite localizar sobre ella casi todas las claves.

Al observar la planta de Los Jerónimos de Madrid (fig. 1a) vemos en primer lugar, como las claves de sus terceletes se sitúan escrupulosamente sobre la trama de 6x4. Notemos además que esta bóveda carece de nervio ojivo y que está construida con dobles terceletes (2 y 3) en la dirección mas alargada. Aparentemente la bóveda de San Marcos (fig. 1b) presenta un diseño mucho más complejo debido a la profusión de nervios combados, muy propio de la es-

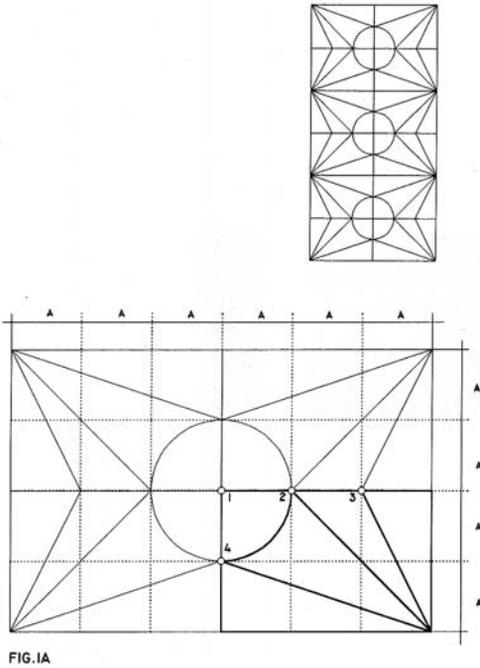


Figura 1a
Traza del diseño de la planta de la bóveda de Los Jerónimos, Madrid

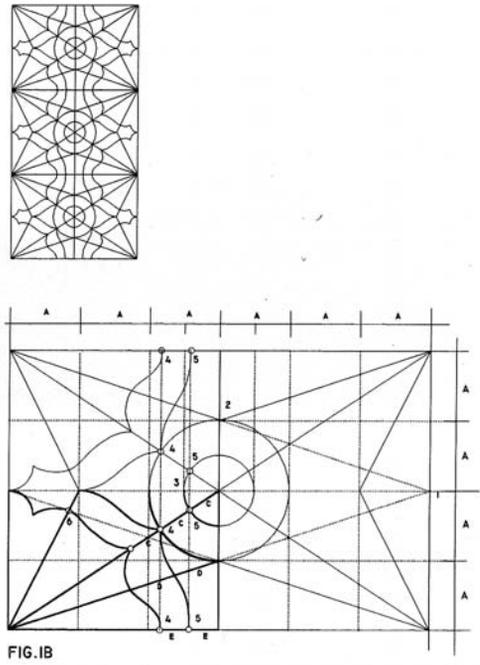


Figura 1b
Traza del diseño de la planta de la bóveda de San Marcos, León

cuela burgalesa y especialmente del arquitecto Juan de Alava sin embargo, un examen más atento, nos permitirá comprobar que las claves en uno y otro caso se sitúan de forma parecida sobre la trama de 6x4. En este caso existe, como suele ser habitual, el nervio ojivo y encontramos un sólo juego de terceletes en cada lado; además de este juego de nervios, la superficie de la bóveda, está adornada con una gran cantidad de combados cuyos criterios de localización se han puesto de manifiesto en la figura que estamos examinando: inscrito en el gran círculo central, encontramos un doble círculo de radio mitad, este círculo corta al ojivo en los puntos 5 que a su vez, por alineamiento, localizan el arranque del combado 5 sobre el perpiaño. De igual manera sucede con el círculo mayor que, al cortar al ojivo, fija la posición de las claves 4 que de nuevo por alineamiento determina la clave 4 sobre el perpiaño. El radio c del círculo pequeño determina el tercer cruce de combados sobre el ojivo y, por último, la clave 6 se fija al prolongar el tercelete mayor y hacerlo cruzar sobre el pequeño.

Como puede apreciarse en la fotografías, la bóveda de Madrid tiene un diseño polar alrededor de la clave central de la bóveda mientras que, en León, además del diseño central, subrayado por los dobles círculos, se crea, con los combados, una red de nervios que, al terminar bruscamente en el perpiaño, va a permitir enlazar unas bóvedas con otras creando una red que se extiende sobre todas ellas. Los diseños polares, las *sterngevölbe* alemanas, tuvieron un éxito enorme en España donde, por el contrario, los diseños en red, las *netzgewölbe* tan frecuentes en centroeuropa, tuvieron escasa relevancia. La excepción a esta regla es quizá Juan de Álava que desarrolló notables ejemplos de abovedamientos en que el los nervios van saltando de tramo en tramo para constituir asombrosas y sofisticadísimas redes.

LA CURVATURA DE LOS NERVIOS

Donde las bóvedas de crucería alcanza su mayor grado de refinamiento es, sin lugar a dudas, en la traza geométrica de sus nervios. La multiplicación de crucerías y claves, tan característico de éste tipo de bóvedas, exige un control geométrico riguroso para fijar la forma y posición de cada uno de éstos arcos en su lugar y altura correctos; estos datos viene fijados

por la superficie que previamente se ha escogido para dar forma a la bóveda, veamos a continuación cómo se lleva a cabo este proceso.

Las figuras 2 a y b, nos ilustran sobre este particular. Veamos que en ambos casos se han abatido las diagonales y en línea de puntos (sobre la parte superior del dibujo) se ha dibujado una semicircunferencia, que sería la traza de un nervio ojivo convencional: un arco de medio punto. Al obtener la altura de la plementería comprobamos que en ambas bóvedas alcanzan justamente la mitad de la altura del arco de medio punto. En la bóveda de Madrid apreciamos además otras coincidencia (fig. 2a); la altura de la clave del formero se encuentra a mitad de altura de la clave de la bóveda y la clave del arco perpiaño se encuentra / más baja que la altura de la clave central. En León (fig. 2b) la altura del perpiaño es coincidente con la de la clave de la bóveda mientras que la altura del formero parece ser aleatoria.

Las alturas anteriormente reseñadas junto a algunas intermedias nos ha permitido trazar con precisión la siluetas de las secciones longitudinal y transversal de ambas bóvedas: el espinazo, se trata de unas líneas curvas que en la terminología de xv se conocía como el *rampante*. Estas líneas son de la máxima importancia ya que determinan la altura de las claves situadas sobre ellas y, por tanto, los puntos de llegada de todos los nervios. En la parte superior de la figura 2 quedan dibujados los *rampantes* longitudinal y transversal de ambas bóvedas. Generalmente estas curvas suelen realizarse mediante sendos nervios que reciben el nombre de ligaduras; la bóveda de Madrid presenta ligaduras en las dos direcciones mientras que la bóveda de León sólo lleva ligaduras en la dirección transversal que, al coincidir en altura la bóveda y el perpiaño, es recta y horizontal.

Tras la simple observación de ambas bóvedas hemos de tener en cuenta que la bóveda de Madrid (foto 1) esta realizada con nervios escarzanos, es decir porciones de arcos de circunferencia, mientras que la bóveda de León (foto 2), está construida con nervios en carpanel, por tanto ovales o, dicho de otra forma, arcos de tres centros. Con las observaciones y datos anteriormente expuestos, es posible acometer la traza que describen cada uno de los nervios; empezaremos por el nervio ojivo.

Partiendo de la planta, procederemos a efectuar los abatimientos de los nervios ojivos (fig. 2). En el caso de la bóveda de Madrid este nervio es inexistente, no



Foto 1
Bóveda escarzana bajo el coro del Monasterio de los Jerónimos, Madrid. Escuela de Juan Guas



Foto 2
Bóveda en carpanel bajo el coro del Monasterio de San Marcos, León. Juan de Álava

obstante llevaremos a cabo la reconstrucción del perfil diagonal de la bóveda ya que su traza será de gran importancia para el conocimiento del resto de las

nervaduras; así pues la diagonal de ésta bóveda, habida cuenta su altura y luz, describe el arco escarzano de centro C1. El ojivo de la bóveda de León es un

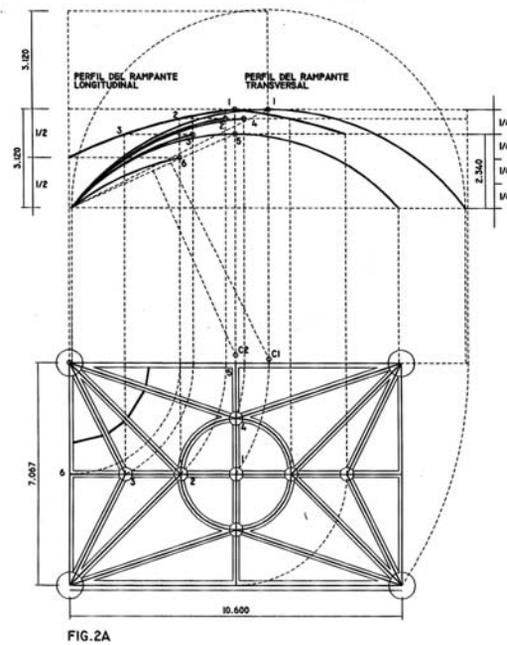


Figura 2a
Planta y alzado: diseño geométrico de los arcos, Los Jerónimos, Madrid

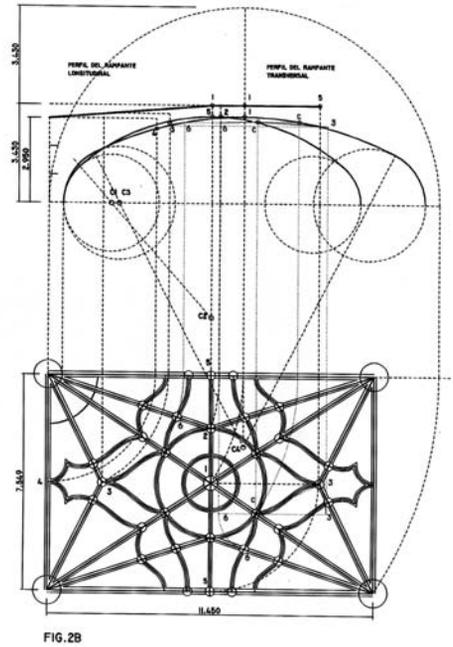


Figura 2b
Planta y alzado: diseño geométrico de los arcos, San Marcos, León

arco carpanel que debe alcanzar la altura de la clave central y la luz de la diagonal; para la traza de éste arco hemos fijado los centros C3 y C4 que permiten trazar un óvalo que parece adaptarse con bastante precisión a la forma de éste arco.

La construcción geométrica que acabamos de exponer se ha efectuado de forma diferente en ambos casos. Si observamos atentamente la figura 2 veremos que la diagonal obtenida en el caso de la bóveda de Madrid es la curva de contacto entre el nervio y la plementería, por lo que representa exactamente el

perfil diagonal de la bóveda; por el contrario, en el caso de la bóveda de León hemos trabajado con la curva de intradós del nervio ojivo. Ambas formas de proceder son correctas y según los casos, trabajar con una u otra curva, puede facilitar la diseño y talla del haz de nervios en su arranque.

Para aclarar esta idea recomendamos observar la figura 3a y b. En el primer dibujo se muestra un arranque de nervaduras: se trata del salmer de una bóveda en la que todos los nervios concurrentes son de distinta sección, caso éste muy frecuente; notemos

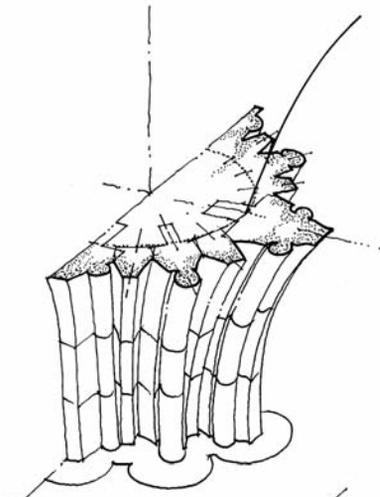


FIG. 3A

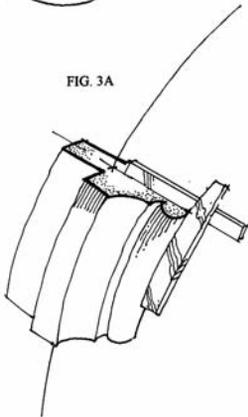


Figura 3a
Jarja de bóveda ejecutada arcos de secciones desiguales ordenados en círculo por el trasdós, porción de un arco con su curva directriz interna

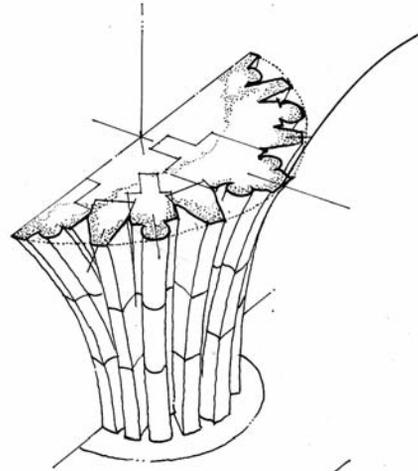


FIG. 3B

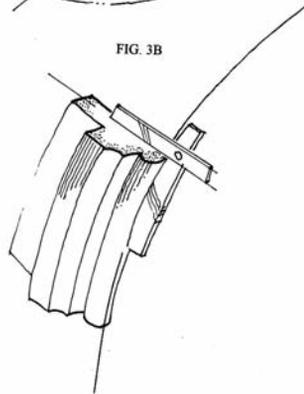


Figura 3b
Jarja de bóveda ejecutada arcos de secciones desiguales ordenados en círculo por el extradós, porción de un arco con su curva directriz externa

sin embargo que, por el trasdós, los nervios se sitúan describiendo una circunferencia. Esta circunstancia hace que sea mucho más fácil trabajar con el perfil de trasdós del nervio, o si se prefiere con las juntas de plementería, que con el perfil de intradós de los arcos que, debido a su diferente tamaño, arrancan desde posiciones muy diversas; tal es el caso de la bóveda de Madrid. Por el contrario la bóveda de Juan de Alava tiene sus arcos de igual sección, excepción hecha del perpiaño, y todo ellos se sitúan describiendo un círculo por el intradós, tal y como indica la figura 3 b; esta circunstancia explica el hecho de que los perfiles de los arcos que hemos obtenido sean precisamente los de intradós. Junto al dibujo de ambas jarjas vemos representada un par de dovelas, cada una de ellas con su curva de referencia y el baibel que facilita su talla.

Con los criterios anteriormente expuestos procederemos a calcular la curva del resto de los arcos de que se componen ambas bóvedas: los arcos perpia-

ños, los terceletes, tres en el caso de la bóveda de Madrid y dos en bóveda de Juan de Alava y por último los formeros.

Comencemos por los perpiaños: en la bóveda madrileña hemos trazado el arco escarzano que se adapta a la cara posterior del arco perpiaño y que alcanza la altura de la clave 5; este arco tiene su centro en C2. El perpiaño de la bóveda de León, trazado con el perfil de intradós del nervio, es un óvalo que, igualmente, alcanza la altura de la clave 5 que, como la ligadura transversal es horizontal, coincide con la clave central de la bóveda (Fig. 2,b); hemos situado sus centro en C1 y en C2.

Posteriormente se han ido abatiendo cada uno de los terceletes y dibujando sus perfiles, recordemos que esta operación ha sido posible gracias a que conocemos la altura de sus claves en los *rampantes*. En el caso de la bóveda de Los Jerónimos de Madrid, hemos dibujado la forma de los arcos escarzanos 2,3,4 y 6 si contamos el formero. Cuando llevamos a

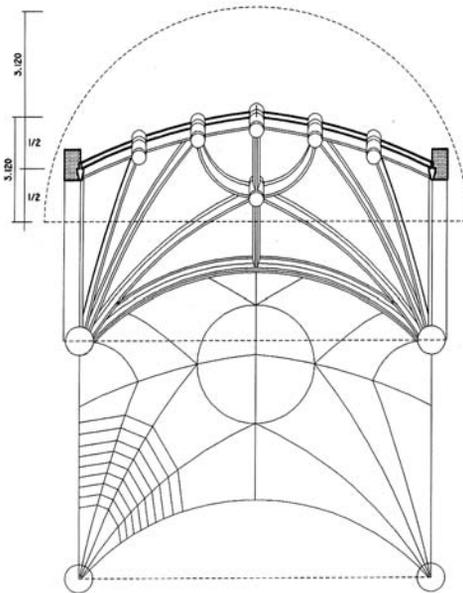


FIG. 4A

Figura 4a
Sección perspectiva de la bóveda de Los Jerónimos de Madrid, disposición de la plementería.

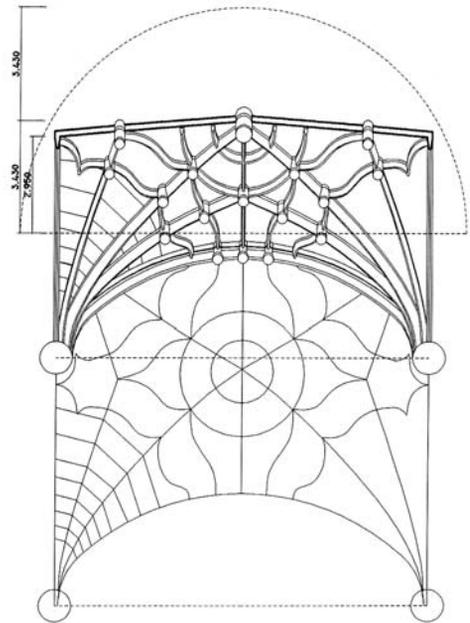


FIG. 4B

Figura 4b
Sección perspectiva de la bóveda de San Marcos de León, disposición de la plementería.

cabo la misma operación sobre la bóveda leonesa vemos cómo las alturas de los dos terceletes 2 y 3 así como el formero 4 se sitúan sobre el contorno de arco ojivo que habíamos calculado previamente, lo que indica que estos tres arcos son porciones del arco diagonal. Llevados por el mismo principio, hemos trazado los cuatro arcos de la bóveda madrileña usando la misma curva del ojivo, aun cuando este no existe físicamente, de manera que son, en realidad, fragmentos del mismo arco virtual. En León el ángulo de salida de todos los arcos es el mismo: 90° , mientras que en Madrid aunque la curvatura de todos los arcos es idéntica, difieren en su ángulo de arranque.

Por tanto podemos aventurar que en ambos casos todos los arcos con que se construyen las dos bóvedas, excepción hecha de los perpiaños, son iguales. Es inútil insistir en la enorme ventaja que esta estandarización de la curvatura de los nervios representa, pensemos únicamente que con una pareja de cimbras distintas es posible construir cada una de las bóvedas, por otra parte, formalmente, resulta sorprendente comprobar cómo finalmente unas crucerías tan complejas pueden llegar a simplificarse hasta tal punto.

Quedan por definir la traza de los combados. Observemos en primer lugar que ambas bóvedas llevan

combados circulares, doble en el caso de León; llamamos la atención sobre el hecho de que este tipo de combados redondos de grandes dimensiones sólo es posible ejecutarlos sobre bóvedas rebajadas o aquellas de *rampante redondo* ya que, este adorno requiere para su ejecución superficies continuas; pensemos en el desagradable aspecto de un nervio circular quebrado como resultado de una bóveda de plementerías muy abruptas. Además de los círculos, la bóveda leonesa lleva un fuerte equipo de combados destinados en gran medida a establecer enlaces con la bóvedas colaterales, creando una red continua entre ellas. A título de ejemplo, se han calculado la traza de los dos combados que parten de la clave C, hasta las claves 3 y 6; hemos destacado en sepia esta construcción geométrica que nos permite conocer la verdadera magnitud e inclinación de estos nervios. Entre cada clave, los nervios combados, pueden ir fragmentados dependiendo de la longitud del tramo, sin embargo, entre dos claves contiguas, los combados no son arcos sino porciones planas de un nervio curvado, los cortes inclinados de sus juntas mantienen estos nervios en su posición. Tampoco sirven de apoyo a la plementería ya que ésta pasa por encima de los combados con piezas enterizas que no se interrumpen con su encuentro.



Figura 5a
Los Jerónimos, Madrid, representación esquemática de la colección de piezas necesarias para el montaje de un cuarto de la bóveda.

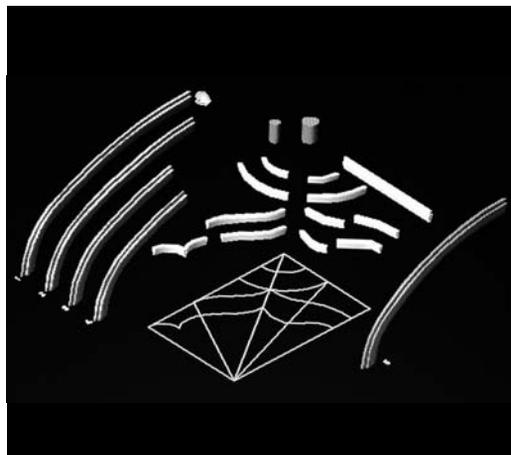


Figura 5b
San Marcos, León, representación esquemática de la colección de piezas necesarias para el montaje de un cuarto de la bóveda.

Las figuras 4a y b muestran la sección y volumetría de la bóveda comparando ésta con el arco de medio punto. Sobre la parte inferior de este dibujo vemos la disposición del dovelaje que se efectúa, en ambos, casos mediante hiladas circulares aún cuando, como es el caso de la bóveda de Madrid, estas hiladas no puedan ser horizontales debido a las diferentes alturas de los nervios. Pensemos que esta plementería puede colocarse entre los arcos si la ayuda de cimbra alguna ya que, la distancia entre las crucerías, hace completamente innecesaria el uso de ningún medio auxiliar de apeo, precisamente esta gran ventaja explica, con toda seguridad, la multiplicación de nervaduras sobre el sencillo esquema constructivo de la bóveda ojival francesa de la cual, no conocemos aún con precisión, de que forma se llevaba a cabo la construcción de esas enormes plementerías.

Por último presentamos las figuras 5 a,b y 6 a,b. Sobre la figura 5 podemos ver, esquemáticamente representado, el juego completo de piezas diferentes necesarias para montar cada una de las bóvedas mientras que, en la figura 6a y 6b, vemos el montaje de un cuarto de dicha bóveda. Por último, en la figura 7 podemos ver la reconstrucción volumétrica de

ambas bóvedas, apreciando con nitidez su forma; los colores ponen de manifiesto los elementos cualitativamente diferentes que intervienen en su construcción.

CONCLUSIONES

Como decíamos en un principio, las bóvedas de crucería han sido injustamente tratadas. Para Choisy, la complejidad de su traza no representaba sino la decadencia de la técnica poderosa y limpia que encontramos en los abovedamientos del gótico clásico francés, parecidas opiniones se desprenden de los textos de Viollet-le-Duc. Posteriormente han sido escasos y muy fragmentados los estudios tendentes a remediar esta situación.

La ponencia que antecede tiene la intención de poner de relieve la sabiduría que encierran este tipo de bóvedas y, con su conocimiento, apreciar el ingenio constructivo que subyace bajo buena parte de los abovedamientos europeos realizados durante el Renacimiento que, lejos de atenerse a los principios clásicos, siguieron profundizando en una técnica de abovedar de tradiciones muy antiguas.

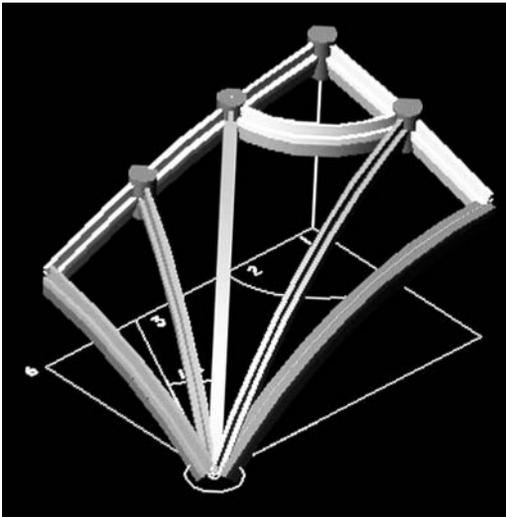


Figura 6a
Montaje de las crucerías y claves de la bóveda de Los Jerónimos, Madrid.

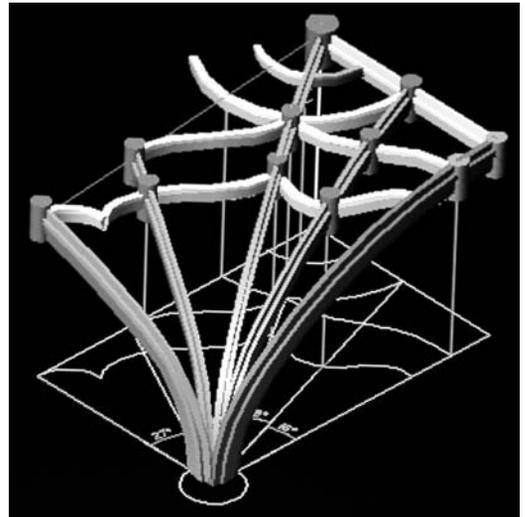


Figura 6b
Montaje de crucerías y claves de la bóveda de San Marcos, León.

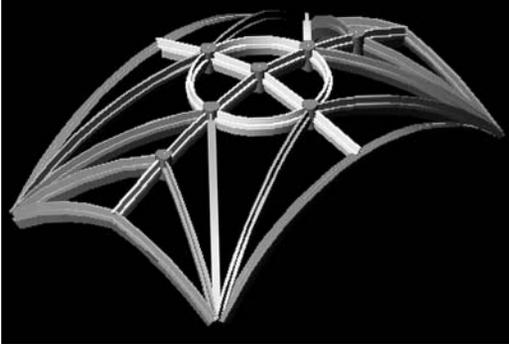


Figura 7a
Volumetría de la bóveda del sotocoro de Los Jerónimos, Madrid.



Figura 7b
Volumetría de la bóveda del sotocoro de Los Jerónimos, Madrid.

La aparición de la bóveda ojival había supuesto un avance enorme en cuanto a la racionalización y control de empujes así como en la economía de las mismas: con espesores mucho menores se obtenían luces mayores y mejor iluminadas. Ahora, la multiplicación de nervios, expresivos viene a resolver un problema constructiva de gran importancia; con ellos se trata de prescindir de las cimbras necesarias para el apeo de las plementería. La proximidad de los nervios hace sin duda innecesaria la presencia de estos medios auxiliares de obra ya que los entrepaños pueden fácilmente rellenarse sin más apoyo que los trasdoses de los terceletes. Podríamos considerar las

complejas tramas de crucerías como una formidable cimbra perdida realizada en piedra.

Este tejido de arcos, no termina únicamente en un complicado diseño plano sino que se ve acompañado de un control y dominio de la volumetría de la bóveda que, abandonando los simples caparazones del primer gótico, desarrolla formas notablemente más interesantes y sofisticadas. Es tarea no puede llevarse a cabo sin un control absoluto de la geometría de esta superficie que, más allá de la planta, debe atender y comprender la posición de cada punto de la superficie de la bóveda. Frente a su complejidad formal, hemos podido descubrir el ingenio de la simplifica-

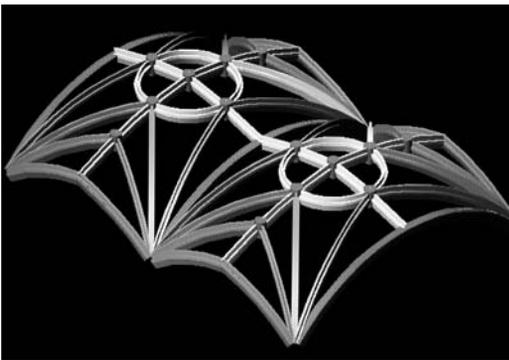


Figura 8a
Red espacial del sotocoro de Los Jerónimos, Madrid. Es-cuela de Juan Guas

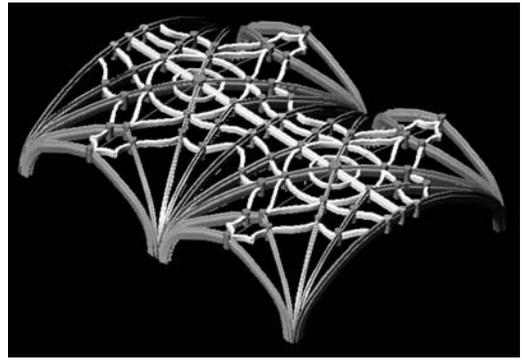


Figura 8b
Red espacial del sotocoro de San Marcos, León. Juan de Álava

ción en el diseños de sus arcos: una arquitectura formalmente compleja basada en principios sencillos. Los abovedamientos góticos del Renacimiento representan, en nuestra opinión, la cima de la esterotomía y geometría medieval, las espectaculares redes espaciales que mostramos en las figuras 8 muestran elocuentemente esta idea.

Como suele ocurrir frecuentemente en la historia de la arquitectura, de un principio constructivo se deriva toda una manera de entender la arquitectura. Tal es el caso de las bóvedas tardogóticas cuyo ingenio y eficacia hizo que traspasara los confines de medioevo para desarrollar sus capacidades expresivas incluso más allá del Renacimiento.

LISTA DE REFERENCIAS

- Bechmann Roland. 1981. *Les racines des cathédrales*, Paris: Payot & Rivages.
- Castro Santamaría, Ana. 2002. *Juan de Álava, arquitecto del Renacimiento*, Salamanca: Caja Duero
- Choisy, Auguste. 1899. *Histoire de l'Architecture*, Paris
- Frank, Paul. 2002. *Arquitectura gótica*. Manuales, Arte Cátedra.
- Gómez Martínez, Javier. 1998. *El gótico español en la Edad Moderna. Bóvedas de Crucería*, Valladolid: Universidad
- Müller, Werner. 1990. *Grundlagen gotischer Bautechnik*, Deutscher Kunsverlag.
- Nusbaum, Norbert-Lepsky, Sabine. 1999. *Das gotische Gewölbe*, Darmstad: Deutscher Kunstverlag.
- Palacios Gonzalo, José Carlos. 1990. *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento Español*, Instituto para la Conservación y Restauración de Bienes Culturales.
- Palacios Gonzalo, José Carlos. 2003. *Trazas y cortes de cantería en el Renacimiento Español*, Madrid: Editorial Munilla-Lería.
- Rabasa Díaz, Enrique. 2000. *Forma y construcción en piedra. De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*, Madrid: Textos de arquitectura, Akal.
- Viollet-le-Duc. 1996. E: *La construcción medieval*, Instituto Juan de Herrera, ETSAM.
- Von Egle, J. R. Fiechter, Ernst. 1996. *Baustil-und Bauformenlehre, Gotische Baukunst*, Stuttgart: Edition libri rari.
- Willis, R. 1842. On the constructions of de vaults of the middle Ages, *Royal Institute of British Architects*. Vol I, Part II, London: Longman.