

La estereotomía islámica: El Cairo

José Carlos Palacios Gonzalo

Desde la fortaleza de la Ciudadela, la ciudad del Cairo emerge entre la contaminación y el polvo del desierto en suspensión con un sin número de minaretes y cúpulas. El *skyline* del viejo Cairo es, sin lugar a dudas, uno de los más extraordinarios que ha producido ciudad alguna. Desde su fundación por los Omeyas en el año 641, pero particularmente a partir del califato Fatimí (siglos X-XII), la ciudad se fue llenando con un sinfín de extraordinarios minaretes y cúpulas que rivalizan entre sí por atrapar la atención del paseante. Esta actividad constructora alcanza su culminación entre los siglos XIII y XVI, la brillante era de los Mamelucos, en parte coincidente con el Renacimiento occidental. Aunque al principio comenzaron siendo obras de albañilería, a partir del siglo VIII empiezan a construirse de piedra, se trata de una cantería de gran talla que requiere para su construcción del soporte de una estereotomía que, ciertamente, no ha recibido la atención que merece.

Un enorme número de mezquitas, madrazas y hospitales compiten con los enormes mausoleos de la dos gigantescas necrópolis históricas del Cairo. Las extraordinarias cúpulas cairotas han sido objeto de estudios verdaderamente interesantes¹. Desde los primeros investigaciones historiográficas hasta los más modernas aportaciones, algunas de ellas centradas en encontrar una explicación a la estabilidad de estas construcciones de esbeltez extraordinaria². Sin embargo, en pocas de estas publicaciones se señala la notable estereotomía que se encuentra detrás de estas construcciones. El arte de la labra de la piedra re-

quiere conocimientos geométricos que, aunque parten de una práctica profesional del taller apegada al oficio, llega a alcanzar niveles de complejidad y abstracción extraordinarios. En el Islam, la pasión por la geometría encuentra en el arte de la cantería un campo donde poderse desarrollar sin fronteras.

Las cúpulas cairotas pueden variar mucho su forma. El sistema parte de una planta cuadrada que se hace circular gracias unas pechinas de mocárabes en general de extraordinaria complejidad. Sobre ellas un esbelto tambor cilíndrico y, sobre él, la cúpula. A su vez, las cúpulas pueden adoptar formas diversas pero en general constan de tres partes. La parte inferior, formado por un peralte vertical, la parte central curvada, por regla general de perfil apuntado, es decir que su trazado se hace con sus centros desplazados del eje vertical y, por último, el remate superior que, al interior suele ser cupulado, mientras que por el exterior lleva un aplacado de piedras de cónico con objeto de lograr el característico perfil apuntado. El sistema en su conjunto es extraordinariamente esbelto; es decir, que la relación de la planta con la altura no tiene parangón posible con las estructuras similares occidentales. Otra de sus características más notables: La superficie de la cúpula más importante es la externa, sobre la cara exterior se concentra la mayor parte de la decoración, hacia el interior suelen ser lisas y oscuras.

Sabemos que, a partir del siglo VIII, muchas de estas cúpulas comienzan a construirse en piedra; son de una sola hoja, es decir que la misma piedra pasa

del interior al exterior³. Sus diámetros son muy variables, desde los 5m hasta las más grandes de unos 15m; en todas ellas, el espesor de la fábrica es extraordinariamente delgado, por regla general puede situarse en un 5% del diámetro de la cúpula. Dimensiones, de nuevo, fuera de los parámetros occidentales⁴.

Con ser notables las características anteriormente expuestas, los retos que plantea la construcción en piedra de estas cúpulas son extraordinarios. Podríamos dividir estas estructuras en dos grupos completamente diferentes: en primer lugar, las cúpulas construidas por lechos planos y horizontales en los que las dovelas avanzan en voladizo hacia el interior y, en segundo lugar, las cúpulas construidas por lechos cónicos, es decir, perfectamente adoveladas. Dos sistemas constructivos diferentes, cada una de ellos con sus propias particularidades estereotómicas.

LAS CÚPULAS DE SILLARES HORIZONTALES

Comencemos por las primeras: lechos horizontales y dovelas volando hacia el interior. Aparentemente, la construcción por vuelos sucesivos, es un sistema primitivo propio de pueblos que no han descubierto la estructura del arco. Sin embargo, la sofisticación _ refinamiento de las cúpulas cairotas parecen contradecir esta primera impresión. La figura 1 es la cúpula de uno de los mausoleos de la gran necrópolis Sur del Cairo. Se trata de una cúpula con el perfil característico descrito más arriba. Por el exterior va decorada con una serie de gruesos y protuberantes nervios cilíndricos que, radialmente, cubren la superficie de la cúpula; un motivo decorativo que comienza, ya en época fatimí, a construirse en ladrillo y, a partir de siglo VIII, en piedra.

Gracias a los prominentes nervios se puede apreciar con claridad que sus lechos de esta cúpula son horizontales (figura 1); es decir, que su construcción se ha realizado mediante una serie de anillos de piedra en voladizo hacia el interior, por tanto, no podemos hablar propiamente de dovelas sino de sillares radiales dispuestos en planos horizontales. Además, en estas cúpulas los lechos no son todos iguales, cada uno de ellos es algo más bajo que el anterior; es decir, los sillares más altos son cada vez más estrechos. Este efecto, aunque aparentemente extraño, tiene una sencilla explicación: al dividir como es lo natural ra-



Figura 1
Cúpula sobre un mausoleo de la necrópolis Sur del Cairo adornada exteriormente con nervios semicilíndricos radiales, construida en piedra con sillares en voladizo de lechos horizontales (foto del autor 2013)

dialmente la sección del trasdós o del intradós de la cúpula en parte iguales, y trazar por estos puntos las líneas de los planos horizontales de los lechos, los sillares, forzosamente, deben ser cada vez más estrechos. Presentaremos a continuación dos métodos que pueden explicar cómo puede llevarse a cabo la talla de estos sillares. En primer lugar se abordará la talla a partir de las caras superior e inferior, y segundo lugar, la labra de sillares se llevará a cabo a partir de la cara de extradós.

La figura 2 muestra la talla por el primer método: es decir, mediante las plantillas de la cara superior e inferior de un sillar. Al observar la sección y la planta de la cúpula vemos cómo, de la sección, se puede extraer la forma del sillar, su altura (variable) y también los ángulos que forman sus caras entre sí. En la planta de la cúpula es relativamente fácil obtener las proyecciones horizontales del sillar: es decir, su cara superior y su cara inferior, para elaborar con ellas unas plantillas que nos permitan acometer su labra. Recordemos que estos dibujos debían ejecutarse a tamaño natural para obtener con precisión cada uno de estos datos. En la parte superior de la lámina vemos como se colocan las dos plantillas, inferior y supe-

rior, sobre un bloque de piedra; con la ayuda de éstas y de la escuadras de los ángulos, el sillar se puede éste tallar con total precisión. Todos los sillares de una hilada son iguales, los de la siguiente hilada serán similares si bien se deben tallar con sus correspondientes plantillas y, debido a la explicación del párrafo anterior, serán algo más estrechos.

En la figura 3 la talla del mismo sillar se aborda de otra manera: a partir de la plantilla de su cara exterior. En esta caso, con la sección y la planta de la cúpula se va desarrollar un gajo de ésta, un gajo que corresponda a la anchura de cada sillar; por así decir, un verdadero “uso horario” de la cúpula. La confección de esta extensión es sencilla, en primer lugar se reparte la sección de la cúpula en función de los lechos con los que se quiere construir, después, sobre una línea vertical, se van llevando las alturas de cada uno de los lechos, sean iguales,

como es aquí el caso, o diferentes; a continuación, de la planta se van obteniendo las anchuras del gajo a ambos lados de la línea central, ahora, en la extensión se van llevando estas anchuras a cada lado del eje vertical. Al unir los extremos de estas líneas horizontales se obtiene el dibujo de la extensión completa de un gajo de la cúpula, incluido su peralte inferior cilíndrico. Sobre el dibujo de esta extensión se puede dibujar fácilmente los dos nervios en disminución, desde la base hasta la cúspide; es decir, que en este desarrollo obtenemos las plantillas de extradós de todas las dovelas con su correspondiente decoración. La planta y la sección dan información también sobre los ángulos que forman todas las caras del prisma contenedor de la dovela, obsérvense con atención las escuadras que marcan estos ángulos, en ocasiones con uno de sus brazos curvo, ya sea cóncavo o convexo.

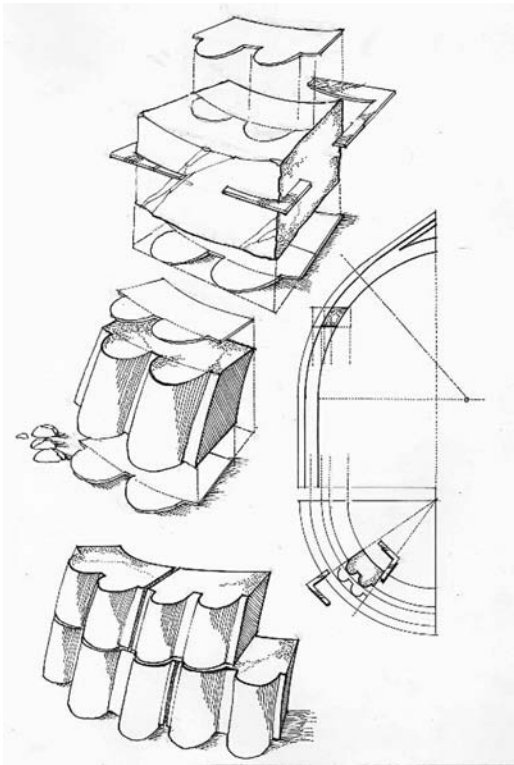


Figura 2
Corte de los sillares horizontales de una cúpula a partir de las plantillas inferior y superior (dibujo del autor 2013)

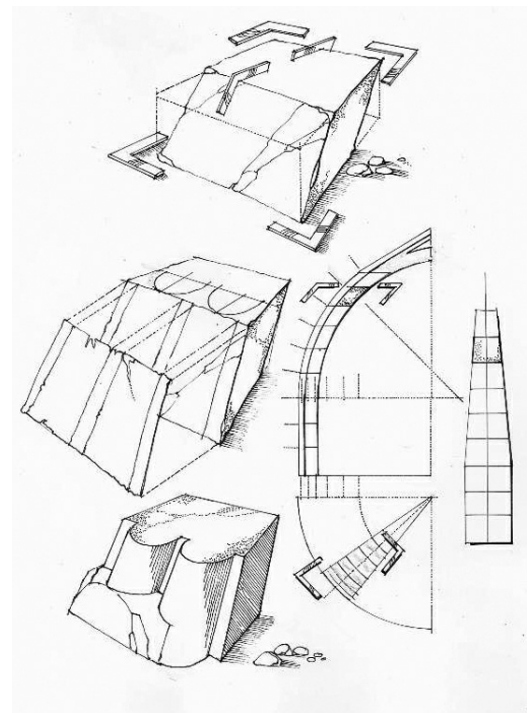


Figura 3
Talla de los sillares horizontales de una cúpula a partir de la plantilla de su cara de extradós. La obtención de esta plantilla requiere la extensión en plano de un gajo de la cúpula (dibujo del autor 2013)

En la misma lámina, en la parte superior, puede verse cómo con la ayuda de las escuadras angulares (*las saltarreglas*), es decir, los ángulos obtenidos de la planta y sección de la cúpula puede labrarse el prisma contenedor de la dovela. Más abajo, en la misma lámina, vemos cómo, con la plantilla de la cara de extradós puede procederse a la talla de la dovela con la forma exacta de los nervios radiales. El interés de este método radica en la idea de vincular la plantilla de la cara externa de la dovela con la parte de la decoración que corresponde a esa dovela. Más adelante volveremos sobre este interesante método que, en nuestra opinión, tuvo una influencia crucial en la construcción de las cúpulas mamelucas.

LOS SISTEMAS ADOVELADOS EN EL ISLAM

El que muchas de las cúpulas cairotas estén construidas con sillares en voladizo no quiere decir que los árabes no conocieran los sistemas adovelados. Al contrario, la variedad y genialidad de los despieces de dovelas que encontramos en el Cairo superan en gran medida a los occidentales. Veamos algunos ejemplos.

La figura 4 muestra algunos despieces de dovelas que permiten construir una cúpula esférica, son despieces básicos bien conocidos, pero que nos servirán

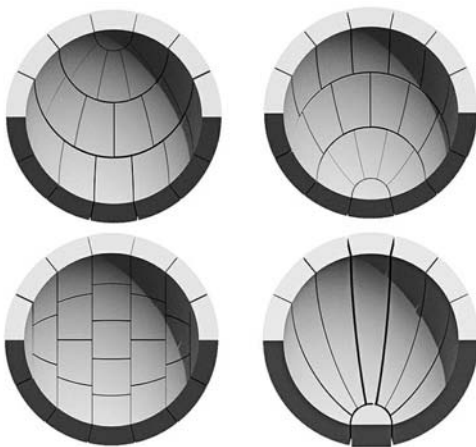


Figura 4
Cuatro ejemplos estereotómicos de fragmentación de la esfera en la estereotomía islámica (dibujo del autor 2013)



Figura 5
Pequeña cúpula aparejada por hiladas de dovelas girando alrededor del eje vertical. Fachada principal de la mezquita del sultán Hassan (foto del autor 2013)

aquí para dar a conocer algunas de las interpretaciones que el Islam es capaz de extraer de ellos. En la parte superior izquierda vemos la configuración más frecuente, una fragmentación de dovelas con sus lechos de asiento cónicos, girando alrededor del eje vertical. Una delicada muestra de este despiece lo encontramos en el formidable nicho de entrada que enmarca la puerta de la mezquita del sultán Hassan (figura 5). El segundo sistema de dovelaje que muestra la figura 4 es similar al anterior pero, en este caso todo el dovelaje gira alrededor de un eje horizontal perpendicular al espectador. La figura 6 muestra un extraordinario ejemplo que mezcla los dos sistemas anteriormente descritos: el giro de dovelas vertical y el giro de dovelas horizontal. La figura 7 muestra la macla de ambas fábricas sobre un arco en torre cavada. Esta extraordinaria pieza, de tan sofisticada estereotomía, se encuentra en la puerta Bab Zwayla que forma parte del recinto amurallado construido por Salaat-al-Din hacia 1094, construida cuando Europa se lanzaba a la aventura de las Cruzadas y apenas comenzaba a salir de la Edad de las Tinieblas.

Volviendo a la figura 4, vemos en tercer lugar otra interesante disposición del dovelaje: dos pequeñas cúpulas enfrentadas una a otra con las dovelas girando alrededor del eje horizontal. Al cortar este sistema por el plano de fachada, la impresión que recibe el espectador es que el dovelaje forma bandas verticalmente y, justamente este efecto es el que se aprovecha para escribir el nombre de Alá en el nicho que



Figura 6
Macla de dos aparejos en la misma superficie esférica: dovelas girando alrededor del eje vertical y un segundo sistema de dovelas girando alrededor del eje horizontal. Bajo la cúpula un arco en torre cavada. Bab Zويلة. 1092 (foto del autor 2013)



Figura 8
Nicho formado por dos aparejos de dovelas girando alrededor del eje horizontal enfrentados entre sí. Las franjas verticales permiten escribir el nombre de Alá (foto del autor 2013)

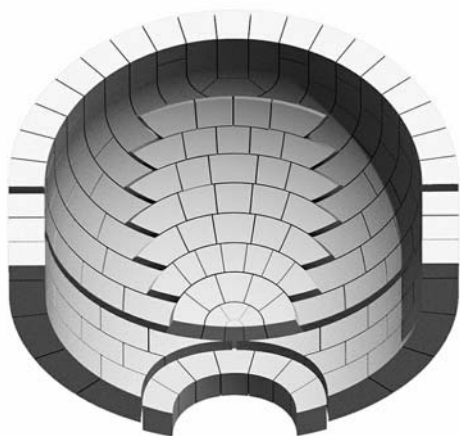


Figura 7
Reconstrucción en 3D del conjunto estereotómico descrito en la figura 6 (dibujo del autor 2013)

muestra la figura 8. Por último, el cuarto ejemplo que muestra la figura 4 es una fragmentación de la esfera mediante cortes radiales. La primera de las cuatro imágenes que contiene la figura 10 ilustra precisamente este ejemplo que, a su vez, puede llevarnos hacia nuevas e inesperados cortes de estereotomía.

La figura 9 muestra en primer lugar el resultado de cortar en dos el anterior nicho esférico; en estereotomía, esta pieza resultante recibiría el nombre de trompa esférica en esquina. Si unimos ahora dos de estas trompas esféricas volvemos a reconstruir el cuarto de esfera con una atractiva estereotomía. El proceso puede llevarse más allá hasta formar nichos esféricos formados con tres y cuatro trompas. La figura 10 muestra algunas de estas ingeniosas disposi-

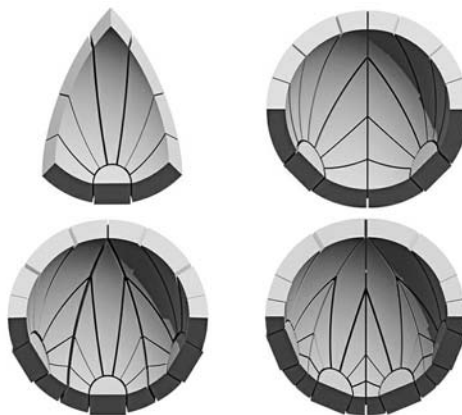


Figura 9
Colección de aparejos obtenido a partir de una trompa esférica de esquina resultante del aparejo de la esfera por gajos (dibujo del autor 2013)



Figura 10

Nichos en las fachadas del Cairo con una, dos, tres y cuatro trompas esféricas ensambladas para recomponer una esfera (dibujo del autor 2013)

ciones que con frecuencia adornan las fachadas del Cairo.

Por tanto, se puede afirmar que el arte de construir cúpulas adoveladas era perfectamente conocido en el Cairo islámico. Aunque las dos técnica que acabamos describir, sillares en voladizo o dovelas de lechos cónicos, parecen coexistir en el tiempo, podemos concluir con toda seguridad es que los maestro de cantería árabes llegaron a dominar con total lucidez el arte de construir sus cúpulas con auténticas dovelas.

LAS CÚPULAS ESFÉRICAS ADOVELADAS

Como mencionamos al comienzo de esta comunicación, las cúpulas cairotas son más importantes por fuera que por dentro. Por esta razón, hacia el exterior exhiben una decoración formidable que, aunque comienza en época fatimí con motivos geométricos simples: nervaduras radiales y zigzags, durante el renacimiento de cultural que tuvo lugar con los califas mamelucos, terminan por cubrirse de una decoración de motivos geométricos o vegetales desbordante⁵.

La figura 11 muestra una pequeña cúpula en el interior del complejo del sultán Barsbay en pleno centro del Cairo antiguo, construida hacia 1432. Se trata de una pequeña cúpula de moderadas dimensiones cubierta de una apretada decoración de lacería islámica. Los pequeños círculos tallados en la moldura inferior dividen la cúpula en 12 partes iguales, el

mismo número de brazos que tiene la gran rueda de lazo que aparece en primer plano, de esta rueda sólo vemos la mitad. Hacia arriba hay otra rueda de doce puntas, esta vez completa, muy deformada por su adaptación al “uso horario”. Entre las dos ruedas, se distinguen bien dos heptágonos cuyo eje horizontal es en realidad el eje de simetría de toda la lacería; es decir que, de abajo a arriba y de izquierda a derecha el dibujo es simétrico. El patrón decorativo ocupa dos módulos es decir 1/6 de la cúpula. Cómo pudieron ejecutarse estos dibujos sobre las superficies de estas cúpulas es un tema controvertido sobre el que aquí intentaremos aportar alguna luz. Se trata de determinar si la labra de estos formidable dibujos se llevó a cabo *in situ*, sobre la superficie lisa de la cúpula una vez terminada o, por el contrario, la labra de este dibujo se podía hacer en tierra; es decir, cada porción del dibujo directamente tallado en taller sobre la cara externa de la dovela que le correspondía. No contamos con ninguna información de la época que pueda ilustrarnos al respecto.

La figura 11 nos permite apreciar una interesante particularidad ampliamente señalada también por todos los estudiosos del tema: las juntas del dovelaje

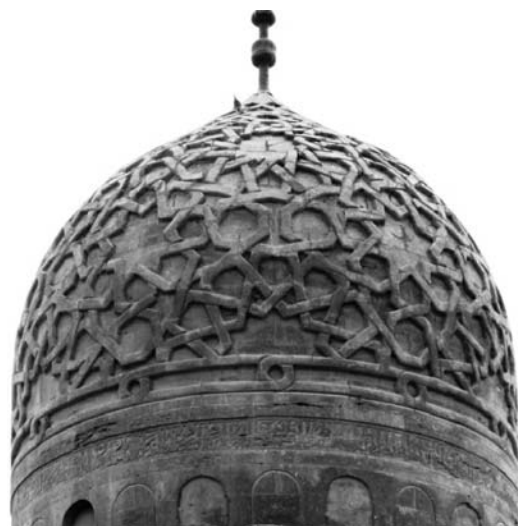


Figura 11

Pequeña cúpula dentro del complejo del sultán Barsbay adornada con un dibujo de lacería que parte de una rueda de 12 puntas. El dibujo y el despiece de dovelas están perfectamente coordinados (foto del autor 2013)

están perfectamente coordinadas con la decoración. En la mayoría de las cúpulas adoveladas se respetan las alturas de los lechos: todos iguales; sin embargo, las dovelas van variando de longitud para aprovechar toda la piedra y así abaratar mucho el coste de construcción. Aquí, sin embargo, esta posibilidad que ha sido excluida: las piedras deben ir coordinadas con el dibujo decorativo, por tanto, tiene sus medidas perfectamente definidas. A diferencia de la cúpula que se describió anteriormente, en ésta, todas las hiladas horizontales tiene la misma altura, por lo que probablemente se trate de una cúpula adovelada con sus lechos cónicos; además, hemos de señalar otra particularidad más, si consideramos que la cúpula comienza cuando comienzan sus molduras, en total, desde la base hasta donde empieza el remate cónicos contamos 12 hiladas. Otra vez el número 12. Las tres primeras hiladas corresponden al peralte cilíndrico y nueve más a la cúpula propiamente dicha.

A la izquierda, la figura 12 muestra la planta y sección de una típica cúpula cairota que bien pudiera corresponder con la de la pequeña cúpula del complejo del sultán Barsbay que estamos estudiando. En la planta se ha dibujado 1/6 de la bóveda y, sobre ellas se ha marcado los círculos que corresponden a la fragmentación horizontal de la cúpula: tres lechos para el peralte y nueve más para la cúpula propiamente dicha; dentro de esta porción se puede inscribir todo el diseño decorativo anteriormente descrito⁶.

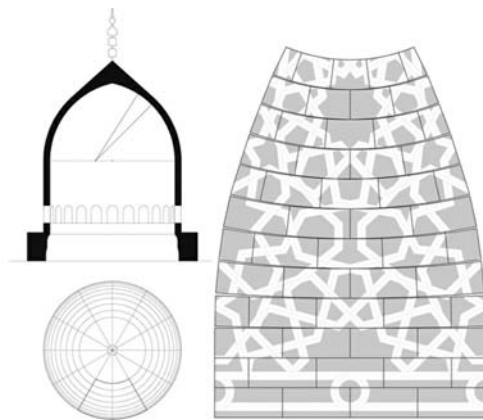


Figura 12
Planta y sección de una cúpula y, a partir de aquí, reconstrucción de la extensión de 1/6 de la cúpula con el despiece de dovelas y el dibujo decorativo (dibujo del autor 2013)

A la derecha, en la figura 12, puede verse una extensión horizontal de este sector de la cúpula con las curvaturas de todos sus lechos, los tres inferiores, rectos, corresponden a los tres lechos del peralte. Sobre esta extensión se ha ejecutado el módulo geométrico del dibujo: las dos ruedas de 12 brazos simétricas respecto al eje horizontal de los dos heptágonos centrales que, a su vez, se van combinando con dos ruedas de ocho brazos. Al adaptar este dibujo, perfectamente regular a la superficie del “huso horario” se va deformando hasta adquirir la forma que se muestra aquí.

Recordemos por la figura 3 que los maestros de cantería árabes sabían desde antiguo hacer desarrollos horizontales de sus cúpulas para abordar su talla por la cara de extradós, por tanto, es muy posible que fuera perfectamente capaces de llevar a cabo la extensión plana que acabamos de sugerir. Esta exten-

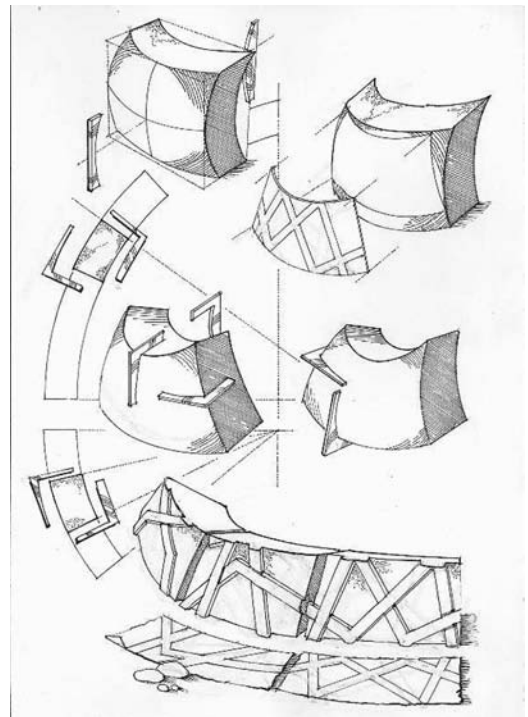


Figura 13
Proceso de talla de una dovela esférica mediante la plantilla de su cara de trasdós y los correspondientes baibeles. La decoración puede tallarse en taller a partir de las plantillas (dibujo del autor 2013)

sión plana contiene todo el diseño decorativo y sobre ella se puede realizar la fragmentación en dovelas más conveniente con total precisión.

Pasemos ahora al taller de cantería para intentar interpretar hacia donde nos conducen estos datos. En primer lugar, recordemos que las dovelas son pasantes, la misma pieza pasa del exterior al interior; por tanto, se trata de labrar una dovela esférica con vista por las dos caras. La sección de la cúpula permite conocer la convexidad exterior y la concavidad interior, a partir de ella, se podrían confeccionar unas plantillas de madera que nos permitieran labrar un bloque de piedra convexo y cóncavo al mismo tiempo (primer dibujo de la figura 13). A continuación, por su cara exterior, se calcaría el perímetro de una de las plantillas que podemos obtener de extensión de la bóveda (figura 12). Una vez dibujado el perímetro de la plantilla sobre la dovela se puede abordar la labra de ésta con la ayuda de *baibeles* cóncavos y convexos⁷. Obsérvese que debido al perfil apuntado de la cúpula, los *baibeles* verticales son distintos a los *baibeles* horizontales, como muestra la esquemática sección que contiene la figura 13 (los radios de curvatura verticales y horizontales de la cúpula son distintos). Teniendo cuidado con el uso de los *baibeles*, podemos ya tener dovelas perfectamente adaptadas a la cúpula con sus lechos de asiento cónicos. Obsérvese que la estereotomía de estas dovelas se lleva a cabo a partir de su cara externa, justo al contrario de la práctica común en Occidente.

Por último, recordemos que cada plantilla lleva dibujada exactamente la porción del dibujo decorativo que corresponde a cada una de ellas, por tanto, en taller, cómodamente, se puede redibujar la decoración sobre la cara de extradós de la dovela y proceder a su labra con total precisión.

Imaginemos el caso contrario: la labra de la decoración lleva a cabo sobre la superficie de la cúpula una vez terminada. Primero hay que llevar a cabo un complicado dibujo de enormes dimensiones sobre el trasdós, teniendo presente bien presente que el tamaño de la cúpula y el andamiaje van a impedir contemplarlo en toda su extensión y, por tanto, controlar los posibles errores. Posteriormente, como es fácil imaginar, la talla sobre la cúpula es de una extraordinaria dificultad y además, pequeños pero importantes detalles, como los cruces alternados de los nervios decorativos, son imposibles de controlar en un dibujo que sólo se puede contemplar parcialmente.

CONCLUSIÓN

Gracias a la capacidad de llevar a cabo desarrollos geométricos de sus cúpulas en el plano horizontal, los arquitectos y maestros de cantería árabes, pudieron gestionar con total precisión el despiece de dovelas en coordinación con la decoración externa de sus cúpulas. Esta habilidad geométrica facilitó y finalmente hizo posible una labra en taller de tal precisión que permitió la construcción de algunas de las cúpulas más extraordinarias de la historia. Esperamos que las líneas que anteceden hayan permitido aportar algunas ideas que permitan aclarar tan controvertido e interesante asunto.

NOTAS

1. Dos de los estudios clásicos, relativamente recientes que llamaron la atención sobre el tema: Cresswell, K.A.C. 1959. *The muslim architecture of Egipt*. Oxford: Clarendon Press y C. Kessler, 1976. *The Carved Masonry Domes of Mediaeval Cairo*. Anteriormente, en el siglo XIX: Choisy, Auguste. 1899. *Histoire de l'Architecture*. 2 vols. París : Gauthier-Villars dedica un capítulo en su tomo segundo a la arquitectura musulmana y Prisse d'Avennes. 1869. *L'art Arabe d'après les monuments du Kaire*. Facsimil : L'Aventurine. Paris.2001.
 2. Barbara Cipriani, John Ochsendorf. 2005. *Construction techniques in medieval Cairo: The domes of mameluk mausolea*. Proceedings Seminario Internazionale. Theory of practice of construction: knowledge, means, models. Ravenna. Italy.
 3. Bouleau, C 2007. *Bâtir une coupole de pierre de taille. La coupole du mausolée de l'emir Khayr Bek au Caire : dessin, construction et décoration* », *Annales Islamologiques* 41, 209-28.
 4. Barbara Cipriani and Wanda W. Lau. *Construction Techniques in Medieval Cairo: the Domes of Mamluk Mausolea (1250 A.D.-1517A.D.)* www.arct.cam.ac.uk/.../vol-1-695-716-cipriani.pdf
 5. Sobre la cuestión de la geometría de las cúpulas cairotas: Bernard O'Kane. *The design of Cairo's masonry domes*. http://www.sas.upenn.edu/ancient/masons/OKane_Domes.pdf
- Al respecto véase también: Wahby and Dina Montasser. *The Ornamented Domes of Cairo: the Mamluk Mason's Challenge Ahmed* www.sas.upenn.edu/.../Wahby-Montasser_Domes_o...
- Ahmed Ali Elkhateeb. April 2012, *Domes in the Islamic Architecture of Cairo City: A Mathematical Approach*. Volume 14, Issue 1, pp 151-176.

- Daud Sutton. 2007. *Islamic design, a genius for geometry*. Booden Books. UK.
6. Sobre la inserción de la decoración sobre las superficies esféricas usando desarrollos planos de la esfera véase: Vincenzo Minenna. 2012. Tesis doctoral: *Il rapporto tra forma e strutturanello spirito reformista vandelviriano: lo apparato costruttivo-morfologico nei Sistemi voltati complessi*. Facultad de Arquitectura. Universidad Politécnica de Bari.
7. Sobre el uso del baibel y la talla de las dovelas de las cúpulas esféricas: Palacios Gonzalo, José Carlos. 1 *Palacios Gonzalo, José Carlos. 1990. Trazas y Cortes de Cantería en el Renacimiento Español*. Madrid: Ministerio de Cultura, Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Reedid. 2003. Madrid: Editorial Munilla-Lería.
- Cipriani, Barbara and Wanda W. Lau. *Construction Techniques in Medieval Cairo: the Domes of Mamluk Mausolea (1250 A.D.-1517A.D.)* www.arct.cam.ac.uk/.../vol-1-695-716-cipriani.pdf
- Cipriani, Barbara and John Ochsendorf. 2005. «Construction techniques in medieval Cairo: The domes of mamluk mausolea». *Proceedings Seminario Internazionale. Theory of practice of construction: knowledge, means, models*. Ravenna.
- Cresswell, K. A. C. 1959. *The muslim architecture of Egypt*. Oxford: Clarendon Press.
- Kessler, C. 1976. *The Carved Masonry Domes of Mediaeval Cairo*.
- Minenna, Vincenzo. 2012. Tesis doctoral: *Il rapporto tra forma e strutturanello spirito reformista vandelviriano: lo apparato costruttivo-morfologico nei Sistemi voltati complessi*. Università Politecnica di Bari, Italia. Facultad de Arquitectura. Universidad Politécnica de Bari. No publicada

LISTA DE REFERENCIAS

- Ahmed Ali Elkhateeb. 2012. *Domes in the Islamic Architecture of Cairo City: A Mathematical Approach*. Volume 14, Issue 1, pp 151-176.
- Bouleau, C. 2007. *Bâtir une coupole de pierre de taille. La coupole du mausolée de l'emir Khayr Bek au Caire : dessin, construction et décoration*. *Annales Islamologiques* 41, 209-28.
- Choisy, Auguste. 1899. *Histoire de l'Architecture*. 2 vols. Paris: Gauthier-Villars.
- Cipriani, Barbara, 2005. *Development of construction techniques in the Mamluk domes of Cairo*. Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Architecture. <http://hdl.handle.net/1721.1/33745>
- O'Kane, Bernard. The design of Cairo's masonry domes. http://www.sas.upenn.edu/ancient/masons/OKane_Domes.pdf
- Palacios Gonzalo, José Carlos. 1990. *Trazas y Cortes de Cantería en el Renacimiento Español*. Madrid: Ministerio de Cultura, Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Reedid. 2003. Madrid: Editorial Munilla-Lería.
- Prisse d'Avennes. 1869. *L'art Arabe d'après les monuments du Kaire*. Facsimil 2001: Paris L'Aventurine.
- Sutton, Daud. 2007. *Islamic design, a genius for geometry*. UK: Booden Books.
- Wahby Ahmed and Dina Montasser. *The Ornamented Domes of Cairo: the Mamluk Mason's Challenge*. www.sas.upenn.edu/.../Wahby-Montasser_Domes_0...

Huerta, Santiago y Fabián López Ulloa (eds.). 2013. Actas del Octavo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Madrid, 9-12 de octubre de 2013. Madrid: Instituto Juan de Herrera.