

## **Geometría y función estructural en cantería. La cantería y la estereotomía de la piedra en el aprendizaje del arte de construir y otras consideraciones**

José Fernández Salas

La teórica de la Arquitectura es el conocimiento que de ella se puede adquirir por el estudio de los libros, por los viajes o por la meditación: la práctica es el conocimiento que se adquiere con la ejecución y conducta de las obras. Estas dos partes son de tal modo necesarias, que los Arquitectos que intentaron llegar a la inteligencia de su Arte con sólo el ejercicio, por mucha que fuese su fatiga, jamás hicieron gran progreso: ni tampoco le lograron los que con sólo el estudio de los libros y meditación pensaron conseguirle. (Vitruvio. *Los Diez Libros de la Arquitectura*. Libro 1)

### **LOS PRINCIPIOS BÁSICOS E INTEMPORALES DEL ARTE DE CONSTRUIR ESTÁN PRESENTES EN LA CANTERÍA, DEL MISMO MODO QUE EL ARTE DE NAVEGAR SE FUNDA EN LOS VIENTOS Y EN LA VELA.**

Cuando contemplamos hoy un arco de dovelas de piedra difícilmente podemos imaginar el esfuerzo de creatividad y oficio que costó su desarrollo y el salto de gigante que supuso para el avance de la cultura arquitectónica. Casi podríamos afirmar que no hubiera sido posible concebir el espacio vacío arquitectónico sin el arco y la bóveda. En el arco de dovelas se integran armoniosamente geometría y estructura, que van a ser inseparables en el progreso posterior del oficio. La ley del funicular preside desde entonces su tecnología.

El hecho de que la mayor parte de nuestro patrimonio arquitectónico esté resuelto en piedra, impone la necesidad de conocer y respetar la Cantería que,

lejos de ser una ciencia muerta, vuelve a estar de actualidad. El Arte de la Montea nos permitirá entender mejor los orígenes de la Construcción y de la Arquitectura. Y será un eficazísimo instrumento de disciplina mental en la investigación histórica, en la docencia y en el aprendizaje de la Construcción, así como en las técnicas de rehabilitación y restauración.

Si es importante conocer la Cantería para hacer uso correcto de ella, no lo es menos entender la profunda sabiduría que encierra y transmite su oficio. En la Cantería se desarrollaron las técnicas de la estructura que, partiendo de la superficie continua en muros y bóvedas de cañón, evolucionaron hasta alcanzar las más altas cotas con la bóveda gótica de crucería al pasar de la superficie activa a la estructura lineal o de entramado.

Las reglas que ofrecen la Cantería y la Estereotomía constituyen un estricto código de metodología doctrinal de la Construcción. Los principios básicos e intemporales del arte de construir están presentes en la Cantería, del mismo modo que el arte de navegar se funda en los vientos y en la vela.

### **LA CANTERÍA ES UN ARTE DE CONSTRUIR PROVISTO DE LENGUAJE PROPIO Y RIGUROSO**

¿Es el Latín una lengua muerta? Tanto si lo es como si no, lo cierto es que ha ido decayendo paulatinamente en la enseñanza media, hasta su total supresión. Los políticos han debido pensar que su aprendi-

zaje resulta poco práctico para los tiempos que vivimos y las consecuencias están a la vista.

Empieza a resultar alarmante el bajo nivel de calidad del lenguaje en la Universidad. Para muchos, el lenguaje correcto no pasa de ser una cuestión de estética o de estilo, un ornamento superfluo. Algunos, incluso, tachan de reaccionaria la exigencia de rigor lingüístico. A los docentes nos preocupa el rigor conceptual pero admitimos con benevolencia las faltas de ortografía y las incorrecciones lingüísticas, sin darnos cuenta de que la expresión inequívoca de un concepto sólo es posible con un lenguaje preciso. Las carencias actuales se generan en colegios e institutos y se manifiestan impudicamente en la Universidad. Hemos perdido el Latín pero ¿qué tenemos a cambio?

El lenguaje es el más sólido y potente instrumento de comunicación que posibilita el acceso al mundo de la cultura y del conocimiento científico. Usarlo con pobreza supone dificultad para expresarse y para ser entendido. El profesor que no lo domina explicará mal o, incluso, incorrectamente. El alumno tendrá dificultad para interpretar lecciones, conferencias y textos bibliográficos y cuando necesite exponer un tema por escrito lo hará con incorrecciones ortográficas, sintácticas y conceptuales. Y el profesional defenderá mal sus postulados técnicos en informes o trabajos escritos, si la calidad de su lenguaje no alcanza el nivel adecuado.

La Cantería es un arte de construir provisto de lenguaje propio y riguroso. La Estereotomía de la Piedra, que fue asignatura obligatoria en las escuelas de Arquitectura y de Aparejadores durante muchos años, inculcaba al alumno los conceptos básicos de la Construcción y le hacía ver que las formas cristalográficas de la Geometría Descriptiva sólo pueden materializarse con el espesor a que obliga la Construcción mediante el dominio del oficio. La pérdida de la Cantería en la enseñanza de la Arquitectura ha supuesto, en cierto modo, la pérdida de la morfología y sintaxis constructivas. El conocimiento de su oficio ayudaba a estructurar la mente para interpretar el hecho constructivo, del mismo modo que el Latín favoreció, durante siglos el mejor conocimiento de las lenguas románicas.

A veces da la impresión de que se están «perdiendo las formas, o tal vez el amor al oficio de construir, a juzgar por la superficialidad con que se abordan los aspectos tecnológicos en la expresión

gráfica. Es como si faltaran unas reglas para dicho lenguaje. Además, desde que se incorporó la informática al mundo del diseño, muchos trabajos técnicos poco rigurosos ofrecen un impresionante y compulsivo alarde de aportación gráfica, gratuita y pretenciosa, sin analizar a fondo el procedimiento constructivo. Esta demasía es, con frecuencia, simple verborrea o charlatanería técnica expresada en un lenguaje zafio y menesteroso. Al igual que con el Latín nos preguntaremos: ¿qué se ha ganado con la supresión de la Cantería en la enseñanza de la Construcción?

#### **GEOMETRÍA Y FUNCIÓN ESTRUCTURAL SE CONJUGAN CON ASOMBROSO RIGOR EN EL ARTE DE LA MONTEA**

La forma geométrica en Cantería es inseparable de la función estructural. Las dovelas de un arco o de una bóveda sólo serán estables y su comportamiento mecánico correcto si su geometría también es correcta, y ello sólo es posible cuando sus cortes son radiales. De este modo la Construcción es totalmente consecuente con la Geometría y el oficio de construir en piedra es básicamente un arte basado en las trazas geométricas. Con la Cantería no cabe el pretendido divorcio entre diseño arquitectónico y Construcción. Nunca se han integrado mejor Construcción y Arquitectura que en una obra de cantería. Nunca un material ha influido tanto en el proyecto arquitectónico.

La Geometría ha sido herramienta inseparable de la Construcción y de la Arquitectura desde la cultura egipcia hasta que la Cantería empezó a decaer en el presente siglo. En algunos periodos históricos ha tenido incluso connotaciones teológicas, cuando no teosóficas o esotéricas de inexorable influencia en la arquitectura.

San Agustín tomó del Libro de la Sabiduría de Salomón el principio de que «Dios ha ordenado todas las cosas en medida, número y peso» y de Platón el de que «la belleza es el esplendor de la verdad». Pensamientos que se convirtieron en la clave de la visión medieval del mundo.<sup>1</sup> Thierry de Chartres, influyente representante del movimiento neoplatónico, tratará de explicar, con ayuda de la Geometría y la Aritmética, el misterio de la Trinidad. Según él, el triángulo equilátero representaría la igualdad de las tres personas. Guillermo de Conques, John de Salisbury y



bién son esenciales para conseguir la belleza formal de la Arquitectura. Hacia fines del siglo XVI, los tratados se especializaron. En España Alonso de Vandelvira y Ginés Martínez de Aranda y en Francia Philibert L'Orme, por citar a los más importantes, publican manuscritos dedicados expresamente a los cortes de cantería, que constituyen un verdadero corpus tecnológico. Ininterrumpidamente, hasta el siglo XVIII, se seguirán publicando este tipo de manuales, casi siempre vinculados a estudios matemáticos (*Compendio Matemático...que comprende Arquitectura Civil, Monte y Cantería* del P. Tomás Vicente Tosca, 1712 o *Elementos de Matemáticas. Que trata de la Arquitectura Civil* Benito Bails, tomo IX, 1783).<sup>5</sup> Así hasta la publicación de la Geometría Descriptiva de Gaspar Monge (1798-99), en que la representación diédrica da lugar a una revolución en los métodos gráficos y a un nuevo enfoque de la Estereotomía (término que, por cierto, no aparece en los viejos tratados y que adquiere carta de naturaleza en los franceses, a partir del s. XVIII), más académica, en el que se consagra definitivamente la geometría como base de la construcción en Cantería.

#### EL DOMINIO DEL ESPACIO VACÍO SÓLO FUE POSIBLE A PARTIR DEL DESARROLLO DE LA BÓVEDA Y LA CÚPULA

La necesidad de cubrir el espacio horizontal se resuelve con estos elementos, de fácil elaboración conceptual pero de compleja e ingeniosa solución constructiva.

El arco y la bóveda fueron concebidos inicialmente como un sistema de voladizos sucesivos, que partiendo de las jambas, iban reduciendo el espacio hasta lograr un vano pequeño que pudiera rematarse con sólo pieza. Existen, gran cantidad de ejemplos de este tipo a lo largo de la historia, desde construcciones prehistóricas como la cueva de Romeral en Antequera, hasta las culturas prehelénicas como Micenas (Tesoro de Atreo) (figura 3) o las culturas precolombinas.

La aparición de la bóveda se vincula a Mesopotamia, cuyas carencias de piedra y madera y abundancia de arcilla y betunes son bien conocidos. El desarrollo, por esta civilización, de un tipo de piedra artificial como la cerámica, que no permite cubrir grandes espacios horizontales con elementos enteri-

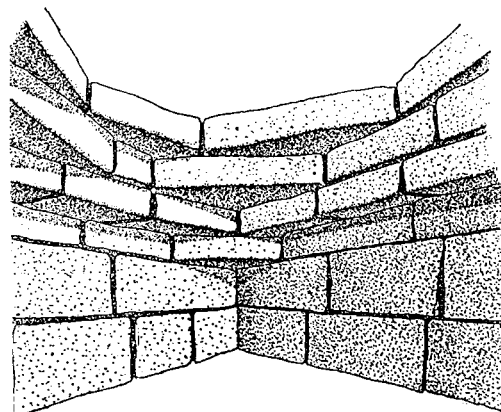


Figura 3  
Tesoro de Atreo. Micenas falso Arco (arriba) y bóveda (abajo) mediante voladizos sucesivos. (según Soto Hidalgo)

zos, obligará a una ingeniosa disposición radial de las pequeñas piezas (adobes o ladrillos) capaz de crear una estructura de superficie activa en estado de laja, es decir, trabajando a compresión. Se sabe que la bóveda era también conocida en Egipto que prefirió, no obstante, la construcción adintelada de piedra

para sus obras monumentales. Precisamente la primera bóveda radial conocida se halla en Hewan,<sup>6</sup> en una tumba hacia el final de la primera dinastía (3000 aC.). Otros modelos de arcos egipcios aparecen en la pirámide de Saqqara (VI dinastía 2350-2200 aC.). El avanzado diseño de las bóvedas de ladrillo en Egipto y Mesopotamia parece evidenciar que dicha técnica se empleaba desde mucho antes, aun cuando no se disponga en el presente de vestigios que permitan confirmarlo.

Las alcantarillas del palacio de Sargón en Korsabad, resueltas con bóvedas montadas mediante yuxtaposición de arcos formados por hojas inclinadas de ladrillos aplantillados, en forma de dovelas con cortes radiales por testa, nos muestran el final de una evolución que, partiendo de la bóveda radial, o de rosca, llegó a definir en cerámica una pieza que sería precursora de la dovela de piedra, fundamental en la Cantería. La yuxtaposición referida transmite las cargas mediante empujes sucesivos de cada hoja a la siguiente hasta llegar al final, donde se necesitará un estribo. En otro caso se requerirá una organización simétrica de modo que, a partir del eje, cada parte del cañón sirva de contrarresto a la otra parte, estableciendo, de este modo el equilibrio. Ese procedimiento evitaba la necesidad de la cimbra,<sup>7</sup> siempre problemática por la citada escasez de madera (Figura 4) La solución precedente distaba tan sólo de los arcos y bóvedas de dovelas el giro necesario para su verticalidad, en los que las éstas transmiten las presiones en el plano vertical. ¿Se habrían descubierto el arco y la bóveda dovelados de no ser por las carencias referidas? ¿Cómo entonces, cuando se inician los grandes descubrimientos, en los siglos XV y XVI, no se encuentran estos elementos en las nuevas culturas, pese al avanzado nivel de éstas?

Es de observar cómo esta técnica, que no permitía disponer bóvedas de grandes luces, obligaba a estancias estrechas y alargadas, como ocurría en los palacios de Mesopotamia, cuya magnificencia espacial sólo era posible con una gran desproporción. Algo parecido ocurrir en construcciones muy posteriores de la arquitectura precolombina, abovedadas con sillares jabalconados que también requieren luces reducidas. En ambos casos el diseño arquitectónico se subordinaba a la técnica constructiva.

El dominio del espacio vacío sólo fue posible a partir de las grandes bóvedas y cúpulas de la arquitectura romana. Grecia aportó los cánones y la siste-

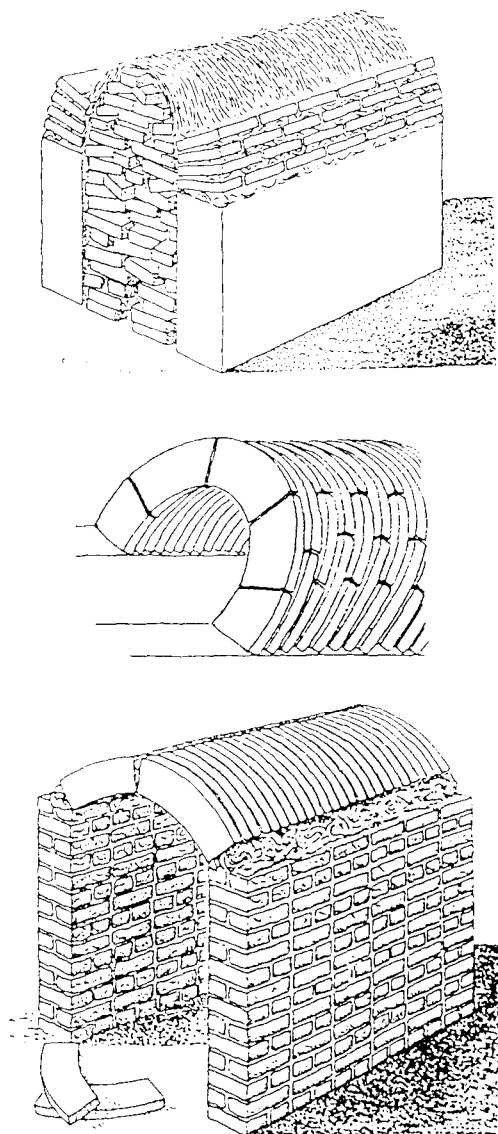


Figura 4  
Evolución de la bóveda en Oriente Próximo. Radial (arriba), montada (en medio), Dovelada vertical (abajo) (según vas Beek.)

matización científica a la Arquitectura, pero Roma estableció la tecnología y la organización necesaria para su progreso. Gracias a la técnica del *emplectum*

o conglomerado de piedra y cal o puzzolana y al ladrillo, la ingeniería romana desarrolló las grandes bóvedas de cañón (Coliseo), por arista (tepidarium de las termas de Caracalla, con luces de 23 m. y las termas de Diocleciano, entre otras) y, sobre todo, la cúpula esférica, con dos aportaciones paradigmáticas: el Panteón de Roma y Santa Sofía en Constantinopla. En el primer caso se desarrolla una solución nervada con casetones interiores y arcos de descara al exterior (figura 4). En Santa Sofía se resuelven dos problemas fundamentales: la transición de la planta cuadrada a la circular mediante las pechinas y el contrarresto de los enormes empujes de la cúpula mediante nichos esféricos. Geometría de alto nivel.

La cúpula bizantina, en la que se conjugan con tal perfección principios geométricos, constructivos y estructurales, ha sido repetida por la arquitectura cristiana occidental, en infinidad de ejemplos a lo largo de muchos siglos, permaneciendo a través de las distintas épocas y estilos como un modelo no superado.

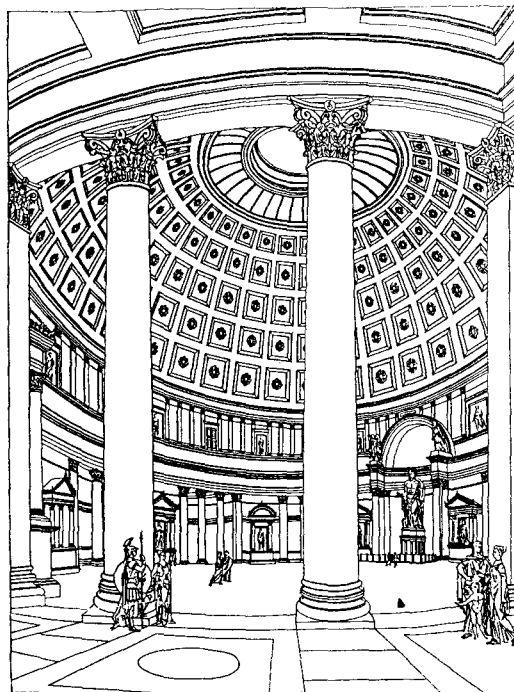


Figura 5  
Panteón romano. Cúpula nervada. Dominio de espacio arquitectónico (según Soto Hidalgo)

#### EL NERVIO Y LA PLEMENTERÍA O EL ENTRAMADO DE PIEDRA EN LA ARQUITECTURA MEDIEVAL

Pero tal vez la conquista más culminante y asombrosa de la Cantería y, por supuesto, de la Construcción y la Arquitectura histórica, sea la bóveda gótica de crucería, que supuso un cambio cualitativo de excepcional importancia al establecer, de modo concluyente, el entramado de piedra. La bóveda por arista, que evoluciona a la nervadura, mediante el grafismo geométrico, supone el paso de la bóveda-muro a la bóveda-nervio (figura 7) y de la estructura de superficie a la estructura líneal (figura 6). Se diferencian claramente, en esta bóveda, las funciones especializadas del nervio y de la plementería. El eventual fallo de un plemento tendrá un carácter local, sin implicar al conjunto estructural, por no ser esencial como antes la continuidad de la superficie sino sólo la del nervio. Se sustituye el viejo muro macizo por el vitral, introduciendo la luz en el espacio interior y el contrafuerte por el arbotante. Así, el nuevo cerramiento, de gran ligereza y desprovisto de función resistente, se independiza de la estructura. Si en la estructura románica el fin es la dispersión de fuerzas, en el gótico se pretende su concentración.<sup>8</sup> Como dirá Otto Von Simpson<sup>9</sup> «En la arquitectura gótica no hay muros, sólo soportes. No hay materia inerte, sólo energía activa. La masa y la carga de la bóveda parecen haberse contraído en una vigorosa red de nervios. Los valores estéticos de la arquitectura gótica son, en un grado sorprendente, valores lineales.»

En la bóveda de crucería la aparente complejidad de los nervios y terceletes propician una gran simpli-

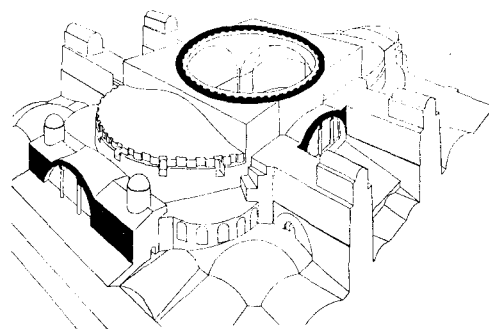


Figura 6  
Santa Sofía. Transición de planta cuadrada a la circular y contrarresto mediante nichos (según Soto Hidalgo)



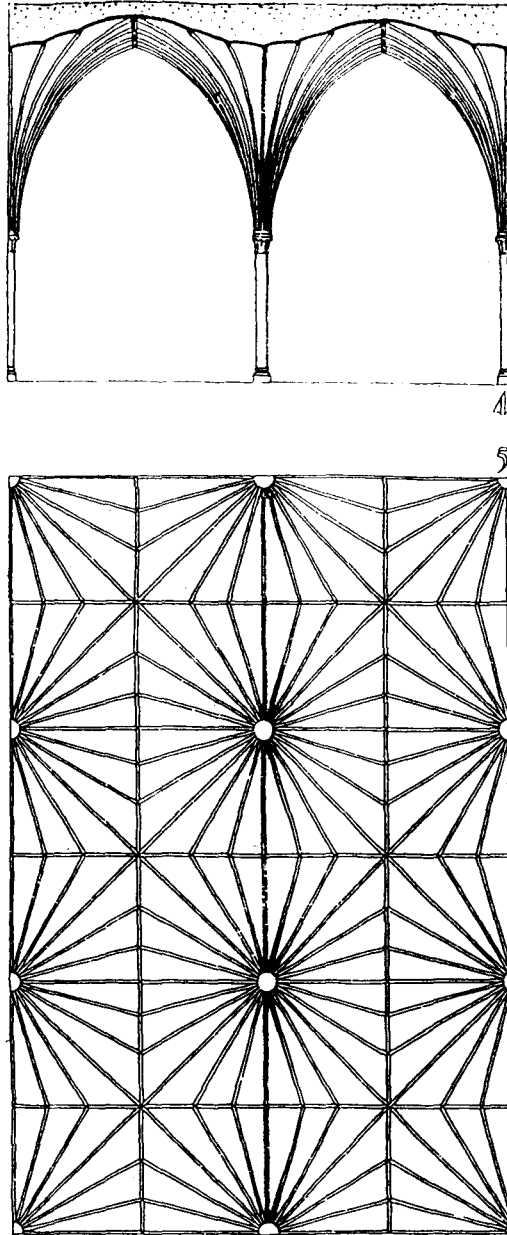


Figura 9  
Bóveda inglesa de abanico. Sistema de yuxtaposición de elementos nervados

aparición y difusión de los grandes tratados de Arquitectura, de Cantería o Arte de la Montea y de Albañilería. Pero hay pocas innovaciones porque tales oficios alcanzaron prácticamente la perfección en la construcción medieval de las catedrales.

#### NOTAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Von Simpson, O. *La Catedral Gótica. Los orígenes de la arquitectura gótica y la idea medieval del orden*. 2ª Edic. española. Alianza Forma, Madrid, 1982.
2. Simonín: *Traité élémentaire de la coupe des Pierres, ou Art du Trait*, Paris, 1792, 1874). *Tratado elemental de los cortes de Cantería*, Madrid, traducc. de Martínez de la Torre y Asensio Torres, 1795. Zaragoza, Edic. Facsímil en castellano. Colegio Oficial de Arquitectos s, 1991.
3. Ramos, A., *Sobre la gravitación de los arcos contra sus estribos y sobre el cálculo para la resistencia de éstos (1723-1782 ?)*. Manuscrito en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Publicado en 1992 por la Real Academia y el Colegio de Arquitectos de Málaga con un estudio de la profª. Rosario Camacho
4. Heyman, J., *Teoría, historia y restauración de Estructuras de Fábrica*. Instituto Juan de Herrera. Madrid, 1995.
5. Bonet Correa, A., *Figuras, modelos e imágenes en los tratadistas españoles*. Alianza Editorial, Madrid, 1993.
6. Vas Beek, G. W., *Arcos y bóvedas del Próximo Oriente*, Investigación y Ciencia (Scientific American). Septiembre de 1987, Pags. 76-84.
7. Vas Beek, G. W., Trabajo citado.
8. Heyman, J., Obra citada
9. Von Simpson, O., Obra citada
10. García, S., (manuscrito 1681) con el título: *Compendio de arquitectura y simetría de los templos*. Edic. facsímil, COA Valladolid, 1990. Basado en el manuscrito de Rodrigo Gil de Hontañón (1540).