

La *Scientia vero de ingeniis*. El concepto de homogeneidad del material *versus* resistencia en los pilares de una catedral gótica

Josep Lluís i Ginovart

El estudio documental y de traza geométrica de la catedral de Tortosa realizado en la última década,¹ permite pormenorizar detalles que ayudan a comprender algunas cuestiones de las condiciones de ejecución de la construcción de la fábrica. Por tanto, es posible plantear, desde una óptica evidentemente pregalileana, una aproximación a las hipótesis de equilibrio de las diferentes fases que regulaban la práctica constructiva de los maestros góticos.

La comunicación pretende acercar a los principios del concepto gótico, de una *práctica* profesional que es *activa* de los maestros de la catedral, *versus teórica* que es *speculativa*, de los promotores de la construcción, unos nuevos términos, que fueron acuñados en la definición de *scientia doctrinali*, matemáticas, del Catálogo de las Ciencias de al-Fārābī (c.870–950), diferentes a los del *quadrivium* del *Admonitio Generalis* de Carlo Magno (747–814). La introducción de nuevas disciplinas como la *scientia de aspectibus*, óptica; *de ponderibus*, mecánica; y la *de ingeniis*, ingeniería, completaban las de la aritmética, geometría, astronomía y música. Las nuevas ciencias fueron difundidas posteriormente por Domingo de Gundisalvo (fl. 1150), en su *De Scientiis* y transmitidas a la Europa de las catedrales por Vicent de Beauvais (c. 1194–1264), en su *Speculum Doctrinale*.²

LA SCIENTIA VERO DE INGENIIS

La definición de la ingeniería aparecerá como una aplicación directa a la del constructor medieval, di-

fundida por Vicent de Beauvais, *quae principia sunt artium civilium practicarum* (XVIII, 55). En términos de al-Fārābī; *los principios de las artes civiles prácticas, que se emplean respecto de los cuerpos, son las que se refieren a las figuras, los sitios, el orden y la medida, como las artes de los albañiles y carpinteros*.

Es el modo de ordenar las demás ciencias matemáticas, especialmente relacionadas con la mecánica, como multiplicación de las acciones: la aritmética, como objetivo de los números, y la geometría, en los términos de medir.

Los fundamentos teóricos estaban basados en los *Elementa* de Euclides (326–265 a.C.) y su pseudo *Liber de Canonio*, las *Cuestiones Mecánicas* de Aristóteles (384–322 a.C.), añadiendo su *Physics*, y las balanzas de Arquímedes su *Problema Bovinum*.³ La estática medieval era recogida principalmente por Jordanus Nemorarius (c. 1225–1260) *Elementa super demonstrationem ponderum* o *De ponderibus*, con la evolución de la física del siglo XIV con los calculadores del Merton College de Oxford, y la innovación del *impetus* de escuela de París.

Los autores clásicos son reconocidos, aunque a lo mejor no conocidos, entre los constructores góticos. En el caso de Euclides en el inicio de la mayoría de los estatutos gremiales, *Hüttenordnung* (1379); *Hic incipit constitutiones artis Geometricae secundum Euclide*. Aristóteles es mencionado en el debate de los peritos de la catedral de Milán de 1400, en relación a la descarga de los arcos.

La mecánica medieval incide en los tratados del *Liber Tertius de ingeneis ac edifiitiis non usitatis*, (c. 1427) de Mariano di Jacopo (1381–1458), il Taccola, quién reconocerá a Herón de Alejandria (c. 10–c. 70), en los códices de Francesco di Giorgio Martini (1439–1502). *Trattati di architettura ingegneria e arte militare, Pratica di geometria* (c. 1482) o en el tratado de Jacopo Barrozi de Vignola (1507–1573), en su *Regola delli cinque ordine di architettura* (1562), quién recogerá parte de estas cuestiones mecánicas.⁴

En el caso de la catedral de Tortosa, podemos acercarnos al conocimiento científico del promotor, a través del catálogo del archivo capitular,⁵ con las fuentes aristotélicas de la *Physics* en los códices nº 24 y 142 y sus comentaristas escolásticos, Aegidius Romanus (1247–1316), con las *Quaestiones super librum phisicorum de Aristoteles*, del nº 200, y Gualterius de Burley (1277–1345), con *Expositio in libros octo Phisicorum Aristotelis*, del ACTo nº 226.

La nueva física, del *impetus*, de la escuela de Paris aparecerá en Tortosa en el inicio de la construcción gótica con: Juan de Bruidián (ca. 1300-ca. 1358), *Quaestiones magistri Ioanis Buridani*, del ACTo nº 108; Alberto de Sajonia (ca. 1316–1390), con *Quaestiones Alberti de Saxonia et Quaest*, del nº 108; Marsilio de Inghen (ca. 1330–1396), en el 114 con el *Incipiunt quaestiones suppositionum magistri Mercelli de ynghen*; Nicolás de Oresme (1323–1382), el *Magistri Nicholai Oresmi, De communicatione idioma-tum* y Enrique de Hessen (ca. 1350–1427) en el *Tractatus qui intitulator «Dici di omni» a Mgtro. Henrico de Hasia*, ambós del ACTo nº 143.

Disponen de los principales textos de referencia de la geometría medieval, con el comentario del *Timaus translatus commentarioque instructus* de Calcidio (f. 350) del nº 80; Macrobio (f. 400), con el *Comentarii In Somnium Scipionis* ACTo nº 236; Marciano Capella (f. 430) con una parte de la geometría del *De Nvptiis Philologiae et Mercvrii*, del códice 80; la *Geometria incerti auctoris* (c. 1000) de Gerberto de Aurillac (c. 940–1003), en el ACTo nº 80; la enciclopedia medieval de Guillermo de Conques (1080–1145) del *Dragmation Philosophiae*, en copia completa al nº 144 y una parte en el nº 80.

Es indudable que los canónigos agustinianos de la catedral de Tortosa, conocían o bien tenían al abasto, las principales obras de base *teórica* de la ciencia medieval relacionada con la *De scientia doctrinali*.

LA GEOMETRÍA DE UN ÁBSIDE CON DOBLE DEAMBULATORIO

La cabecera de la catedral de Tortosa, de planta heptagonal, fue cubierta entre 1383 y 1440. Dispone de un ábside con doble deambulatorio, que abrazaba la anterior catedral románica. La primera fase fue la construcción del cinturón de las capillas radiales, construidas de forma correlativa entre 1383–1424, de sección muy baja de proporción 9/5. La segunda fase, el deambulatorio, provocó un aumento de sección a una métrica sesqui tercia, de proporción de 9/6 y, a diferencia de la anterior, las bóvedas fueron construidas simétricamente (1432–1434), cerrando desde la boca de éste hacia el interior del presbiterio. Finalmente la cubrición del presbiterio (1439–1440), con la disposición de la gran clave de 2,323 m de diámetro y con un peso aproximado de 8.746 kg (figura 1).

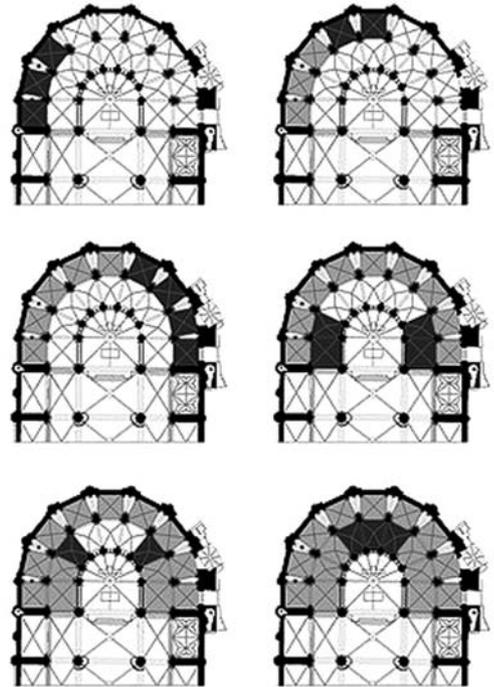


Figura 1
Evolución constructiva del ábside de la catedral Tortosa. V. Almuni, J. Lluís

La tipología de catedral de doble deambulatorio sobre las capillas radiales, es frecuente en Francia, pero no es habitual en la Península Ibérica, tan solo Ávila, Toledo, Cuenca y Tortosa.

El doble deambulatorio supone la liberación estructural del muro de separación entre las capillas laterales del ábside y, por tanto, provoca la concentración de la descarga puntual sobre el pilar. Este problema es planteado años más tarde, en la disputa de Milán de 1392.⁶

Interrogados todos los péritos sobre la conexión de las capillas radiales, contestan afirmativamente, a excepción de Simón de Orsenigo. Los maestros concluyen, además, que la sección ha de ser *ad triangulum*, en métrica milanesa (8/7).

Constructivamente la cuestión había sido ensayada tímidamente a mediados del trescientos, en una sección similar, en Santa María de la Aurora de Manresa. Finalmente el muro inter-capillas será perforado totalmente antes 1377, en la catedral de Tortosa.

La eliminación del muro radial comportará un cambio estructural en la mecánica global de la fábrica, pero también repercutirá en las fases intermedias de la construcción, con el sustento de las bóvedas de las capillas radiales, antes de poder contrarrestarlas con la construcción del deambulatorio.

La solución geométrica de las capillas en Tortosa, pasa por una disposición sobre bóveda de crucería de planta cuadrada y cabecera de traza heptagonal con nueve capillas. Todo ello comportará una sección constructiva mucho más baja de las demás construcciones al uso, hasta una sección 9/5, cercana a los modelos meridionales de Sagunto y de la catedral de Valencia.

El elemento esencial para el levantamiento y construcción de este modelo estructural es el pilar. Este elemento arquitectónico ha de recoger los empujes iniciales de las capillas radiales y los del futuro segundo nivel de las crucerías trapezoidales y genera en su forma la geometría del ábside. El replanteo de muchos ábsides góticos de traza circular, se realizaba sin conocer el centro geométrico de la circunferencia, puesto que dicho punto, estaba situado en el presbiterio de la catedral al que se substituía. De esta manera la correcta disposición de los pilares, y la métrica entre ellos, debía asegurar el ajuste del cinturón de las capillas radiales, sobre el primitivo presbiterio.

El pilar de un doble deambulatorio recoge las arquerías del las capillas radiales, situadas en la nave

más baja, pero ha de prevenir el futuro encaje de la nave más alta. Hay que tener en cuenta que los ocho pilares de la cabecera no son geoméricamente iguales. La labra de los seis dispuestos sobre el cuerpo circular es simétrica sobre el eje del arco toral. Pero no lo son los dos que se encuentran sobre el tramo recto de los ábsides, puesto que el toral no está dispuesto en la bisectriz del ángulo de incidencia. En el segundo nivel, se produce en el encuentro de las bóvedas regulares del primer tramo recto, con las trapezoidales de carga asimétrica de la parte de la circunferencia.

El diseño del pilar de Tortosa es semejante a los salmeres de la tradición francesa. La tipología permite la descarga de las molduras de los arcos torales, formeros y cruceros de las bóvedas concurrentes, tanto en su intrados, hacia el deambulatorio, como las del extrados hacia las capillas. La construcción con elementos diferenciados que se encajan en enjarje del pilar en la catedral de Amiens, está ilustrada por Viollet-le-Duc (1814–1879), en su *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle (1854–1868)*. La hipótesis de labra indica la coexistencia de la estereotomía de 16 elementos de talla diferentes, incluyendo además de una parte importante de relleno de mortero.⁷ Este sistema constructivo permite un encaje sobre la propia monte de la fábrica, y por tanto es susceptible de corrección en el replanteo de la fábrica, aunque sea ya a una altura importante. Apuntemos la importancia de la descarga de los pináculos en secciones *ad quadratum*, muy altas, para el equilibrio de este pilar, que carece además de continuidad de material y por tanto de homogeneidad, con la coexistencia de los dos materiales.

En el inicio del ábside del deambulatorio de la catedral de Tortosa, las basas de los pilares, son en ocasiones, de una sola pieza, mientras que el fuste, a modo de salmer clásico dispone de dos tallas, todo ello a manera de gran prefabricado (figura 2).

ELS LLIBRES D'OBRA, FUENTES DIRECTAS DE LA TALLA DE PIEDRA

En el caso de la catedral de Tortosa existe una amplia documentación en los libros de fábrica sobre el corte y dimensión de los elementos petreos. Los *llibres d'obra* matizan la talla de diferentes tipos de elementos de cantería: *pedra de fil*, de *pedra de mo-*

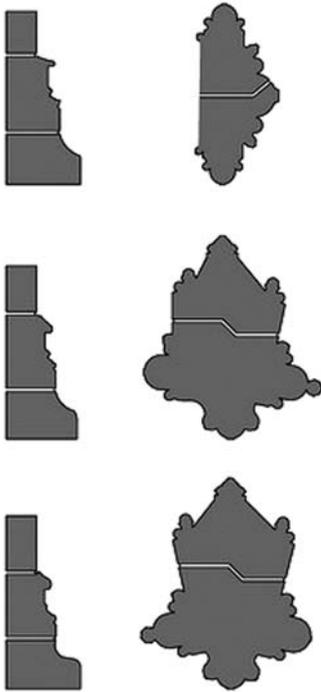


Figura 2
Detalle de los pilares del ábside de la catedral Tortosa. J. Lluís

llo, distinguiendo entre el corte ordinario y las que necesitan plantilla.

En algunos caso el *mestre* va a la cantera, donde se le enseña la piedra y él mismo talla les *pedres de mollo*. Todo parece indicar que las precauciones y cuidado en la elección y corte de este tipo de material, ha de venir justificado en elementos transcendentales para la fábrica.

El primer documento (ACTo.II.o. 1345–1347, fol. 5v–45r), en el inicio de la obra gótica, el 22 de julio de 1346, describe el encargo de la talla de 2000 piedras, indicando varios tipos de *galgas*, altura, entre un palmo y tres dedos (27,11 cm) y un palmo tres cuartos de este (38,71 cm), después una única medida de *siti*, palmo y medio, ancho de (34,85 cm), y añade, que todas ellas han tener entre dos palmos y medio y tres (entre 58,08 y 69,69 cm).

El peso oscila entre 101 y 172 kg. Un nuevo documento (ACTo, II.o. 1388–1389, fol. 19r–21v), nos habla que la labra tenga como mínimo 2 palmos y me-

dio de largo por dos de profundidad. El corte de la piedra da una proporcionalidad en la geometría de las piedras, entre (1:1:2) y (1:1,25:2–2,5) dato que nos acercará a la consistencia de la cantería (figura 4).

Las fuentes hacen hincapié en la importancia de la dureza de la piedra para la función mecánica de la fábrica. En el caso del debate de Milán de 25 de enero de 1400, los maestros italianos respondiendo a las objeciones de Jean Mignot, aseveran:

Los contrafuertes de dicha iglesia son lo suficientemente fuertes y capaces de sostener su peso, pero por muchas más razones, ya que un brazo de nuestro mármol y nuestro sarrizio, cualquiera que sea su anchura, es tan resistente como dos brazos de las piedras francesas.

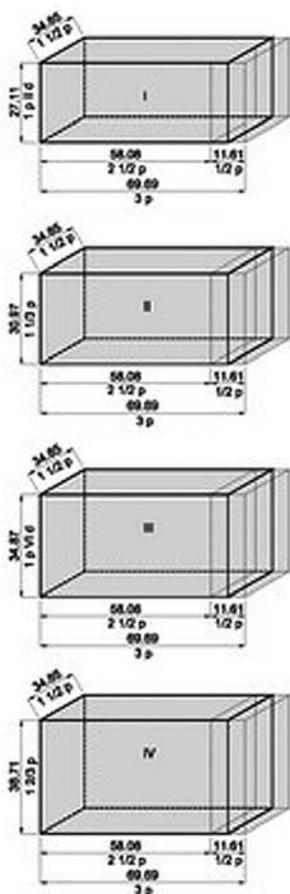
Todo parece indicar que a mayor densidad, mayor dureza y mayor resistencia, como también lo corrobora el *Deliberatio Capituli Gerundensis* de 1412.⁸ Arnaldo de Vallerias, *lapiscida et magister operis sedis Minorisae super dictis articulis*, afirma:

Es verdad —dice— que la piedra de Manresa es más ligera y amigable para el mortero que la de Gerona y que, si hubiese de construir esta iglesia, haría la bóveda de piedra que fuese más ligera y se pegase mejor el mortero, pero que las crucerías, lo principal, los respaldos y la demás obra, se podrían hacer de piedra de Gerona.

La bóveda puede construirse con un material de menor densidad, mientras que los elementos verticales se han de ejecutar con una piedra de mayor densidad, asignando así la propiedad de dureza de la pie-



Figura 3
Pilares ábside, *pedres de mollo*. Joan J. Cid



	Superficie mínima m ²	Superficie máxima m ²	Superficie mínima pams ²	Superficie máxima pams ²	Peso mínimo Kg	Peso máximo Kg
I	0,16	0,20	2,67	3,71	101	126
II	0,18	0,22	3,34	4,56	113	137
III	0,20	0,25	3,71	4,65	126	154
IV	0,25	0,27	4,26	5,00	143	172

Equivalencia 1 m³ = 18,53 pams³ de Tortosa

Figura 4
Proporcionalidad talla de sillares. J. Lluis

dra a aquellos elementos más resistentes. La utilización de dos tipos de piedra es frecuente en esta época, el propio Guillem de Sagrera en Castel Novo, utiliza una piedra local, y otra para los elementos más resistentes, la piedra de Santanyí que es trasladada desde Mallorca.⁹

El mortero es para Valleras un elemento importante, ya que un material poroso se agarra mejor para dar continuidad estructural en un elemento horizon-

tal; también lo será en elementos a compresión, asegurando la continuidad en la planitud de los elementos de contacto entre las piezas.

En función de la dureza, se asignará sección al elemento, en el tratado *Unterweisungen* (1561) de Lorenz Lechler (c. 1465-c. 1538): «hay que saber si la piedra es dura o blanda ... si la piedra es buena, quita tres pulgadas al espesor del muro, si fuese mala aumenta tres pulgadas».¹⁰

La constatación de fuentes que han permanecido vigentes en la práctica profesional hasta principios del siglo XX, caso de la *Estereotomía de la Piedra* (1897) de Enrique Rovira y Rabasa (1845–1917), quién recoge: evitar los ángulos agudos en el corte y juntas quebradas; que la disposición de los lechos y contarlechos de la fábrica coincidan con los de la cantera; que la juntas sean geoméricamente planas; que a mayor contacto de elementos, mayor resistencia; el enlazar bien el aparejo; que la líneas de juntas sean coincidentes con la de su curvatura vista, y finalmente una adecuada proporción entre el dimensionado de la cantería.¹¹ Afirmación que recoge el texto de Jean-Baptiste Rondellet (1743–1829), de su *Traite thèorique et pratique de l'Art de Bâtir* (1804), clasificando la piedras como; blandas en su corte, alto, ancho, largo (1;1,5;2), dureza media (1;1,5–2; 2–3), y las duras (1; 2–3; 4–5).¹²

Dentro de la tradición del corte de la piedra de Tortosa, y en los estamentos de su proporcionalidad, estaríamos en un estadio de una piedra blanda.

TALLA DE PIEDRA DE LOS PILARES DEL ÁBSIDE DE LA CATEDRAL DE TORTOSA

El primer pilar del ábside de la catedral de Tortosa se talla hacia 1377, por lo que la disposición general del proyecto de doble deambulatorio debía estar definido: «a-n Curça qui-y fo. II. jorns per mollos al caragol e del pilar de la capella de Sent. P.» (ACTo. Ll.o. núm. 3, f. 66v).

La sección vertical de la basa de la pilastra de la Capilla de Sant Pedro, recorre el muro de cerramiento, hasta la tercera capilla radial, a la que se asigna el Maestro A. La decisión por tanto de eliminar el muro de separación de las capillas absidiales, a diferencia del resto de las cabeceras de la Corona ya estaba tomada. La basa del pilar de la Capilla de San Pedro es de una pieza, y su molduraje es diferente a la del res-

to del ábside, la atribuimos al Maestro B; mientras que el resto de las capillas del ábside disponen de una moldura uniforme, del Maestro C.

En el inicio de la fase constructiva del ábside la base de los pilares simétricos, necesitan un corte mínimo de piedra 245×214 cm, ya que la sección en entrada de la cimentación es de $3,69 \text{ m}^2$, mientras que los demás son de 254×204 cm y sección de $3,72 \text{ m}^2$. Tiene una talla en dos hiladas, y su despiece es de una sola labra o en dos piezas, una de ellas de dimensiones considerables, mientras que la otra es relativamente pequeña. La primera pieza, de la capilla de San Pedro tiene una galga de 33 cm, y su peso es del orden de 2.191 kg.

La envergadura neta de los pilares es de 192 cm de profundidad, por 157 cm de ancho, y su sección estructural es del orden de $1,68 \text{ m}^2$. Los de talla simétrica son 199×149 cm de sección $1,74 \text{ m}^2$. En el inicio de la Capilla de San Pedro, las piezas del fuste del pilar están ejecutadas tan solo con dos juntas, la galga del sillar se sitúa entre 31 cm y 36,5 cm. La pieza del cuerpo delantero sobre los tres arcos del deambulatorio, tiene un peso entre los 681 y 802 kg y, otra pieza, relativamente más pequeña, donde concurren las molduras de los arcos perpiaños de las capillas y cuyo peso puede oscilar entre los 256 y 302 kg. La pieza mayor, situada al extradós de la capilla tiene, en este momento de la construcción de la catedral, la función de estribo del cuerpo de las capillas radiales (figura 5).

Posteriormente en el momento de la construcción del cuerpo superior, las piezas más pequeñas realizarán esta función. La polaridad estructural invertida del pilar como estribo no tendría lugar si se construía el tradicional muro separador de las capillas radiales.

Las juntas horizontales, están perfectamente aplomadas mediante pequeñas cuñas de madera, aun visibles, rellenando superiormente el aparejo con una lechada de cal, para asegurar la plenitud y permitir la máxima superficie de contacto, a fin de garantizar un cierto monolitismo.

Un nuevo documento ACTo, ll.o. 1382–1383, fol. 20r-39v), habla de la visita de cuatro días del *mestre Johan*, a la cantera de Flix, donde, *dos piquers que mostraren la pedra*, planteando la hipótesis, de un control de calidad de los grandes bloques que han de la tallar, para los pilares del deambulatorio.

A partir del tercer pilar se va a alterar la labra, en algunos casos van a aparecer hasta tres y cuatro tallas

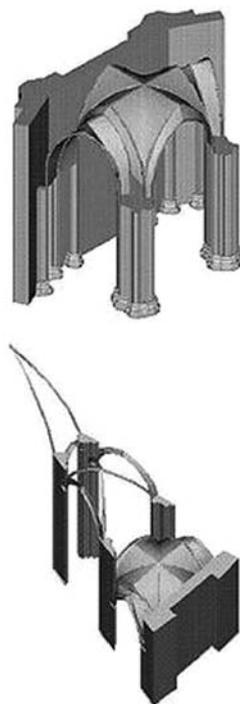


Figura 5
Sistema estructural ábside. J. Lluís

por cada hilada. La nueva disposición, en piezas más pequeñas, afecta esencialmente al cuerpo interior, a los arcos perpiaños de descarga del ábside. El peso de los bloques utilizados en la construcción se aligera considerablemente, facilitando el transporte y colocación, pero aumentará el número de piezas, y de ahí la necesidad de ordenarlas, apareciendo marcas de sanguina con numeración romana (figura 6).

Los números están situados junto a las juntas, disponen de dos marcas. En la capilla de Santa Lucía, el tercero en cronología, se observan en las hiladas de las piezas interiores, H6 el I, H10 el V, H11 el VI, H12 el VI, repetido, H13 el VII, H15 el X, H16 el XI y H18 el I, en las exteriores H-7 el II. En el pilar de la capilla de Santa Lucía sobre la Transfiguración se observan marcas en las cuatro caras de los tramos retos del pilar, en las hiladas de las piezas interiores; en la cara meridional, H10 el I, H11 el II, H12 el III, H13 el III y H15 el VI, en la cara septentrional, H12 el III, H13 el III, H14 el V, H15 el VI y H16 el VII. En

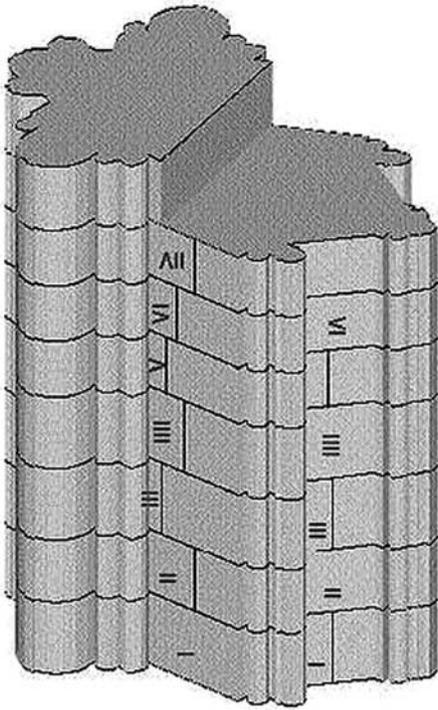


Figura 6
Numeración romana de los pilares. J. Lluis

las exteriores, cara meridional en la H11 el II, H12 el III, H13 el IIII, H14 el V, H15 el VI, en la H16 el VI, H17 y en la H19 el X. En la septentrional, H15 el VI, H16 el VII, H17 el III, H18 el X y H19 el XI.

En el inicio del modelo, se da gran importancia a que las piezas de los pilares tengan gran dimensión, mientras que el despiece de la dovelas en la cubrición de la capilla de San Pedro, son mucho más pequeñas que las del Santo Sepulcro. El proceso de talla irá cambiando a medida que avanza la construcción del ábside, invirtiendo los términos del tamaño de la labra de la piedra. Sin duda, la utilización de grandes elementos pétreos, comportará una especialización de los medios auxiliares, andamajes y grúas.

Otro factor a analizar sería la proporcionalidad de la geometría del pilar respecto a los 150 palmos de ancho de la cabecera, de la misma suerte que el ancho de los muros, respecto a luz del presbiterio determinados en los tratados alemanes.¹³ De la misma manera que hay un ajuste en función de la dureza de la

piedra, ha de existir una corrección entre el modelo de despliegue de la planta. Por tanto se ha de introducir un nuevo factor, que pudiera traducir los diferentes modelos: ad quadratum (1/1), ad triangulum, traducidos en (7/6) por Gerberto, u (8/7) Stornaloco en Milán, los modelos sesquitercios (4/3), los sesquialteros (3/2), modelos más bajos (9/5). Es indudable que a sección más alta, mayor descentramiento de carga. Constructivamente esta circunstancia había sido perfectamente experimentada en la evolución del arranque de los arcos de diafragma en el siglo anterior.

CONCLUSIÓN

Los canónigos de la catedral de Tortosa, base *teórica*, conocían el nuevo concepto físico de *impetus* de la Escuela de París en el inicio de la catedral gótica. Quizá de ahí la inspiración del nuevo sistema estructural, de conducir los empujes desde las bóvedas hasta los pilares a manera de enjarjes. Son, además, los que encargan la talla de las piedras de la fábrica. Pero el modelo de doble deambulatorio había de construirse y el pilar es el elemento esencial que genera la geometría del ábside y concentra la potencia de la estabilidad global de la fábrica, pero además garantiza, con su transformación funcional, la estabilidad de las fases constructivas intermedias.

La tradición de la talla de la piedra indica la importancia de la proporción del material, del contacto entre elementos y la disposición del corte de acuerdo con la ley de la piedra. Podemos decir, en términos de estereotomía, que la piedra utilizada en la catedral de Tortosa es blanda. Por tanto hay que añadir otros factores de seguridad para garantizar la estabilidad del nuevo modelo. En primer lugar, uno de carácter general y en el que no hemos incidido, una sección geométrica muy baja de 9/5, pero otro derivado del empleo del material. El control de este factor empieza en la cantera con la visura del maestro del bloque a utilizar, con unas dimensiones mínimas muy considerables, 260 × 220 × 35, pero también en el diseño del tamaño y la geometría de las piezas principales de los pilares (figura 7). La gran medida de los cortes de las piezas, comporta un complejo manejo de bloques muy pesados, con lo que complica su puesta en obra. Solo así puede justificarse la utilización de estos grandes prefabricados, en la confianza de garanti-



Figura 7
7 Pilares ábside. Joan J. Cid

zar la estabilidad de un modelo no experimentado. En términos de *practica* del maestro medieval, a menos juntas y mayor homogeneidad de material, mayor consistencia y por tanto mayor resistencia.

NOTAS

1. Almuni Balada, Victoria. 2007. 633–807. Los libros de fábrica publicados en el apéndice documental. Lluís i Ginovart, Josep 2002, 397–508, sobre trazado geométrico.
2. La citas se refieren a las ediciones de al-Fārābī de González Palencia, Ángel 1954, 39–53 y la de Gundisalvo, Domingo 1955, 85–112, ed. latina M. Alonso. Reconstrucción de la edición de V. Beauvais de 1591, en apéndice I.
3. Knorr, W. R. 1982, 75–106. «Las cuestiones de las balanzas» en Part II: *The Ancient Background*.
4. Corradi, M.; Filemino, V. 2005. 289–296. A parte de referencia de Vignolla es coincidente, además, con la citación de parte de las fuentes medievales de base teórica.
5. Bayerri Bertomeu, Enrique. 1962. Cita de los códigos del Acto, según Bayerri.
6. Valentini, Guiseppe. 1990. 61–78; Yarza Luaces, J. et al. 1982, 329–337.
7. Viollet-le-Duc, E. 1854–1868. 4: 167–173, Viollet-Le-Duc, E. 1996. 163–170.
8. Llaguno y Almirola, E.; Ceán Bermúdez. 1829. 261–275, Street, George Edmund 1865, 501–513. Lucas, Charles 1871, 9–40. Street, G.E. 1926, 533.
9. Serra Desfilis, Amadeo. 2000. 7–16.
10. Ruiz de la Rosa, José Antonio. 1987., 326–329, en parte editado Huerta, Santiago. 2007. 519–532.
11. Rovira y Rabasa, Enrique. 1897. 220–221.
12. Rondellet, J. 1804. 20–22. *Les dimensions des pierres*. Plancha n° XVII.
13. Huerta, Santiago. 2007. 519–532.

LISTA DE REFERENCIAS

- Almuni Balada, Victoria. 2007. *La catedral de Tortosa als segles del gòtic*. 2 vols. Benicarló: Onada.
- Bayerri Bertomeu, Enrique. 1962. *Los Códices Medievales de la Catedral de Tortosa. Novísimo inventario descriptivo*. Tortosa: Talleres Gráficos Algueró y Baiges.
- Corradi, M.; Filemino, V. I. 2005. Vol. 1. «I fondamenti della Meccanica medievales e il “Trattato di Meccanica” nella Architettura di Jaxopo Barozzi di Vignolla». En *Actas del Cuarto Congreso Nacional de la Construcción*. 289–296. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- González Palencia, Ángel. 1954. *Alfarabi 870–950. Catálogo de las ciencias*. Madrid: Instituto Miguel Asín. CSIC.
- Gundisalvo, Domingo. 1955. *De Scientiis. Compilación a base principalmente de la de Al-Farabi*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Huerta, Santiago. 2007. «Las reglas estructurales del gótico tardío alemán». En *Actas del Quinto Congreso Nacional de la Construcción*. 519–532. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Knorr, W. R. 1982. «Ancient sources of the medieval tradition of mechanics. Greek, Arabic and Latin Studes of the balance». *Annali dell’Istituto e Museo di Storia della Scienza Firenze*. Monografía n° 6. Fac. 2
- Llaguno y Almirola, E.; Ceán Bermúdez. 1829. *Noticia de los Arquitectos y Arquitectura de España desde su restauración*. 4 vols. Madrid: Imprenta Real.
- Lluís i Ginovart, Josep. 2002. *Geometría y diseño medieval en la catedral de Tortosa. La catedral no construida*. Tesis Doctoral. UIC.
- Lucas, Charles. 1871. *Notes archéologiques pour servir l’Histoire de l’architecture en Espagne. Une Junte con-*

- sultative d'architectes tenue à Gironne (Catalogne) en Janvier 1416*. Paris: Ernest Thorin, éditeur.
- Rondellet, J. 1804. *Traite théorique et pratique de l'Art de Bâtir*, par J. Rondellet. Tome Second. Paris: Chez l'auteur, enclos du Panteón.
- Rovira y Rabasa, Enrique. 1897. *Estereotomía de la Piedra*. Barcelona: Librería y Estampería Artística.
- Ruiz de la Rosa, José Antonio. 1987. *Traza y Simetría de la Arquitectura en la antigüedad y Medioevo*. Sevilla: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Serra Desfilis, Amadeo. 2000. «“È cosa catalana”: la Gran Sala de Castel Nuovo en el contexto mediterráneo». *Annali di architettura* n° 12. Rivista del Centro internazionale di Architettura Andrea Palladio di Vicenza. 7–16.
- Street, George Edmund. 1865. *Some account of gothic architecture in Spain*. London: John Murray, Albemarle Street.
- Valentini, Guisepppe. 1990. *Il Duomo di Milano. Una disputa medievale sul modello del tempio*. Milán: Nuovo Edizioni Duomo.
- Viollet-le-Duc, E. 1854–1868, 4. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle*. Paris: Libraires-Imorimiers Réunies.
- Viollet-le-Duc, E. 1996). *La construcción medieval. El artículo «Construcción» del Dictionnaire raisonné de l'architecture française de XI^e au XVI^e siècle*. Madrid: Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo.
- Yarza Luaces, J. et. al. 1982. *Arte Medieval II. Románico y Gótico*. Barcelona: Gustavo Gili.

