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.

Fuentes para el estudio de la *geometría fabrorum*. Análisis de documentos

José Antonio Ruiz de la Rosa

Las necesidades de los oficios, constituyeron el punto de partida de una «técnica geométrica» base de la ciencia geométrica que hoy conocemos. Tal geometría práctica, geometría para los oficios o *fabrorum*, era la aprendida, usada y desarrollada por los artesanos. Desde la más remota antigüedad se hizo necesaria tal geometría, de base elemental, interesada en la forma, pero de fondo sostenido científicamente en los preceptos euclídeos. Tal corpus, en principio empírico, ha seguido un camino paralelo a la geometría teórica hasta el final de la Edad Media, donde ambas se funden. Obras como *Pratike de Geometrie,* el *Cuaderno de notas* o *Géométrie pratique* ms del XIV, constituyen desde distintos aspectos el corpus de la geometría fabrorum, la «técnica de las formas». Donde los conocimientos de geometría no se toman como valor en sí, sino como instrumento de control formal, y cuyas construcciones se realizan con regla y compás, únicos instrumentos necesarios. Los tratados tardogóticos que han llegado a nuestros días, publicados a finales del XV y durante el XVI, desvelan gran parte del proceder de los maestros canteros y por tanto de sus conocimientos. Parte de estos principios geométricos se publican en un trabajo realizado en Ratisbona en 1490, firmado por Matthäus Roriczer bajo el título *Geometria Deutsch*, un opúsculo con once ilustraciones donde el gran maestro pone por escrito ciertas operaciones geométricas a modo de consejos útiles.La propia geometría desarrolló posibilidades de aproximación al mundo de la aritmética, evidentemente menos desarrollado y más alejado del conocimiento de los artesanos. La relación entre ciertos números enteros y las proporciones de ciertos polígonos regulares, propició resolver problemas matemáticos complejos de una manera sencilla y muy eficaz.

Sobre las tradiciones operantes en la producción arquitectónica

La historia de la arquitectura y de otros oficios más o menos próximos a la construcción o que establecen un control formal similar, se sostiene, en sus etapas más alejadas en el tiempo, en la edilicia, la arqueología, las fuentes y la bibliografía, cuyos análisis parciales y subjetivos dan pié a hipótesis que el tiempo se encarga de contrastar.

Especialmente el complejo campo de la ideación permanece bastante desasistido, y aunque en los tres últimos siglos han sido numerosas las especulaciones al respecto, es el final del siglo XX el que ofrece hipótesis de solidez inusitada, quizás debido a un mayor interés temático, quizás a los cada vez más numerosos testimonios y documentos de primer orden que van apareciendo, quizás ambas cosas. El resultado apunta hacia lo que hoy se denomina «tradiciones operantes en la arquitectura», que podemos sintetizar en tres: la gráfica, que incluye los modelos, la numérica y la geométrica (Ruiz 1987, 20–29). Es decir: dibujos, planos y maquetas como medio de control formal por excelencia; el uso de los números y sus combinaciones, normalmente desde la métrica y la proporción, como cantidad o como abstracción; o el empleo directo de figuras geométricas y sus asociaciones para generar formas y poderlas construir. La tradición numérica en sus comienzos y la geométrica siempre, se han basado en la Geometría, tanto en la primeva etapa empírica como en la posterior científica, y es justamente sobre esta incidencia, básica para entender los procesos de diseño y ejecución, sobre la que vamos a incidir, en un recorrido cronológico y sintético que atiende fundamentalmente a las edades Antigua y Medieval por ser las más desconocidas y a este respecto más interesantes.

Sobre la geometría empírica

También llamada «técnica geométrica», su origen es la eterna pregunta carente de respuesta: ¿fue antes el huevo o la gallina?, ¿la geometría se inicia y desarrolla como necesidad de los oficios o al contrario?. Centrémonos en su contenido. Los trabajos de la Misión Babilónica de la Universidad de Pennsylvania, han permitido datar desde aproximadamente el 3000 a.c. numerosas tablillas de contenido aritmo-geométrico procedentes de excavaciones como las llevadas a cabo en Nippur y Lagash (Rey 1943, 78). Cálculos sobre figuras geométrica como las encontradas por Pinche correspondientes a la I dinastía babilónica, o las de la colección de Yale que trabaja con cuadrados y sus diagonales,[1] aportan datos empíricos, aproximaciones y tanteos mediante la acumulación de experiencias de lo que podemos llamar inicio de la geometría. La cultura egipcia aportará muchos años de observación y servirá un buen cúmulo de reflexiones al mundo griego. Los papiros de Moscú, Berlín y Rhind (Peet 1923), entre otros, son documentos preciados para seguir la pista de una geometría fruto de la observación, capaz de abordar hasta la cuadratura del círculo[2] o el cálculo de la pendiente de una pirámide, referido por Herodoto, que apunta a aplicaciones en el campo de la construcción. En resumen, los documentos de esta etapa nos ofrecen una geometría sin valor de generalidad, que sienta las bases de lo que será la futura ciencia desde un repertorio disperso de recetas para resolver problemas concretos. Una geometría como instrumento, de carácter práctico, ligada a necesidades cotidianas.

Sobre la geometría teórica y práctica

Estos conceptos geométricos surgidos de la observación de la naturaleza, «geometría natural o de la simple visión» según Luis Moya basándose en la filosofía aristotélica, fueron la base de la abstracción euclidiana. La técnica y lo fenomenológico dan paso a la ciencia, lo místico y esotérico a lo razonado y abstracto, en una etapa dorada etiquetada como clásica, de la que existe documentación y bibliografía abundante que nos exime de mayor comentario (Tannery [1887] 1988; Rey 1961). Proclo, Pitágoras, Hipócrates y tantos otros, convierten la observación empírica en reflexión científica, sistematizada y codificada hacia el 320 a.c. por Euclides. En este momento quedaban definidos los elementos de la geometría básica también llamada de «regla y compás», aquella que sólo necesita tales instrumentos para su desarrollo: rectas, ángulos, polígonos y círculos, aderezados con ciertos criterios de semejanza, que permitían establecer axiomas y teoremas fundamentales para una ciencia geométrica elemental que resuelve numerosos problemas, entre ellos todos los posibles en el mundo de la construcción coetánea y futura, cuyos instrumentos de control formal, en la fase de ideación, eran por cierto la regla y el compás, a los que se añadían otros como la escuadra en la fase de ejecución.

Hipias, Nicomedes, Diocles, Apolonio, Arquímedes,..., seguirán avanzando en el campo teórico como el de las curvas «mecánicas», cónicas y espirales, concoides, cisoides, etc, sus aplicaciones en la estereometría, en problemas como la duplicación del cubo, o lo que es igual, el cálculo de una raíz cúbica, cuestiones ajenas al campo de los oficios hasta pasados muchos siglos, al inicio de la Edad Moderna.

Si desde la más remota antigüedad las técnicas geométrica y de los oficios eran indisolubles, llegados a este tiempo de la eclosión científica griega, la técnica deviene en ciencia, lo erudito se disocia de lo profesional, y se puede lanzar la hipótesis de la existencia de dos geometrías, una teórica y otra práctica, una ciencia y otra instrumento.

La geometría teórica sigue investigando bajo intereses estrictamente de progreso científico, posiblemente ajena a futuras aplicaciones en otros campos, aunque este proceso investigador no será lineal y, al menos en occidente, sufrirá un acusado receso a lo largo de la etapa medieval, retomándose en la baja edad media gracias a la aportación de los conocimientos atesorados en geografías más orientales y que llegan de la mano de las invasiones islámicas, proceso cuyo progreso durará hasta nuestros días.

La geometría práctica, la mensurable, la que se aplica en los oficios (Shelby 1972), designada como *geometría fabrorum*, tomará en préstamo los conocimientos más básicos de la geometría teórica, aquellos necesarios y suficientes para resolver, los que se instrumentan con regla y compás, artilugios a su vez propios de los oficios, para establecer un corpus estable de conocimiento que prácticamente no progresará hasta el siglo XV.

Así, desde Euclides se plantea el desarrollo en paralelo de dos geometrías, la teórica y la práctica, científica y fabrorum, una descendiente de la otra a la que a su vez potencia desde su generalidad, pero ambas con vida propia y diferenciada en mor de los objetivos. Estos caminos en paralelo volverán a unirse con la modernidad, en la etapa renacentista, cuando el artesano se convierte en científico, el maestro cantero en arquitecto, y desde entonces sólo existirá una geometría que no se volverá a disociar.

Quizás sea Pappus de Alejandría en el siglo III el primero en establecer esta distinción en su obra *Synagôgê* apoyándose en los trabajos de Herón en el II aC, en cuya escuela, dice, la «mecánica» se dividía en una parte teórica y otra manual,[3] «la teórica compuesta de geometría, aritmética, astronomía y física, la manual por los trabajos del metal, construcción, carpintería y arte de la pintura, y la ejecución práctica de estos asuntos» (Downey 1946, 106). Otras pistas nos las aportan Hugo de San Víctor y Dominicus Gundissalinus en el XII (Baron 1955). Sus obras, *Practica Geometriae*, *Didascalicon* y *De Divisione Philosophiae*, por lo que se deduce de los textos, tratan sobre la geometría teórica, la que investiga mediante especulación racional, «sola rationis speculatione investigat», y la geometría práctica, que lo hace por medio de instrumentos, primero como tratado de la medida y luego como materia que enseña a hacer, a construir, «scientia de ingeniis», cuyos agentes son los artesanos, que la aplican por medio de tales instrumentos.

La línea teórica, a veces contaminada con algunas cuestiones prácticas, continuará desde entonces y durante la edad media con personajes como Servio, Apollinar, Capella, Boecio, Casiodoro, Isidoro de Sevilla, etc, compiladores que recogen buena parte de la ciencia antigua, especialmente la geometría sistematizada en las artes liberales, reelaborando los trabajos de euclides y las aportaciones romanas, unido a grandes dosis de filosofía (Bruyne 1958). Las *Etimologías* de Isidoro son un buen ejemplo de este quehacer y de la contaminación de las artes liberales con algunas cuestiones de la técnica.[4] La ciencia helénica decaerá lentamente en el medievo como tantas otras cosas, y hasta el siglo XI circularán escasos conocimientos de geometría por Europa, a destacar la *Geometría Gerberti* de Gerberto de Reims, pese a sus limitaciones.

Sería la cultura islámica la artífice de una puesta al día. Portadora de conocimientos griegos extendidos por el oriente, más las aportaciones de otras ciencias como la hindú, introductora de los algoritmos, inicia en el siglo IX la difusión de estos conocimientos por los territorios conquistados (Mieli 1946). Al-Khuwarizmi, al-Farabi o al-Chaijami son nombres, entro otros, que realizaron un gran trabajo de clasificación y recuperación, que sólo se podía leer en árabe, y que en el siglo XII se enseñaba en la Escuela de Toledo, traducido a lengua latina, la que siempre había utilizado la geometría teórica en occidente. Los conocimientos del mundo clásico se recuperaban para el mundo medieval, un poco tarde pero decisivo para el desarrollo de la cultura bajomedieval, de la que el gótico es gran deudor, y del posterior saber renacentista. La síntesis realizada por la ciencia musulmana desarrolló al máximo las posibilidades de la geometría aplicada a los oficios (Lewis, Pellat y Schacht 1965).

Un ejemplo de la línea teórica tras la recuperación científica, lo aporta la obra *Practica Geometriae* escrita por Leonardo Pisano en 1220, en latín y dirigida a personas formadas en las artes liberales, aporta soluciones cultas que al decir del autor no son las usadas por los agrimensores que proceden según métodos «vulgarem» (Braner 1961).

Por otro lado, en la práctica de los oficios se seguían los principios de la geometría euclídea desde la época griega, trasmitidos asistemáticamente y de forma fragmentaria por tradición oral dentro de los distintos gremios, donde la aritmética y la geometría teórica quedaba lejos de los arquitectos, maestros canteros y artesanos, cuyos conocimientos eran eminentemente prácticos, alejados de la ciencia. Esta geometría fabrorum evoluciona lentamente tanto por prueba y error como por incorporación de cuantos avances prácticos se produjeran, adaptando y mejorando soluciones, para convertirlas en recetas cada vez más válidas como instrumento de trabajo, conceptos geométricos sencillos que permitían generar diversidad de formas y resolver problemáticas constructivas al margen de toda reflexión teórica.

Un ejemplo es la incorporación de números enteros sencillos a la geometría de ciertos polígonos, que permite trabajar métrica y gráficamente a la vez o indistintamente, dando entrada a las dimensiones y al tiempo salvando el escollo del manejo de los números irracionales, implícitos en dichas geometrías y en las formas derivadas. Así un triángulo equilátero se puede representar y replantear con un compás o mediante la relación 7/6, 7 unidades de lado por 6 de altura, que implica una aproximación a raíz de tres de 18 milésimas por defecto, o la relación 8/7 con la misma aproximación pero por exceso. Las actas que recogen los avatares de la construcción de la Catedral de Milán[5] desde finales del XIV, nos cuenta como la fachada diseñada «ad triamgulum», según triángulo equilátero, planteó graves problemas métricos para medir alturas, valores en función de raíz de tres, cuestión que los constructores lombardos no supieron resolver, y sería Stornaloco, un teórico, el que aportaría la solución (Frankl 1945), cuyo resultado final concluía que se midiera con varas de 8 codos las dimensiones horizontales y con varas de 7 las verticales.[6]

Otros ejemplos como la relación 7/5 o 10/7 entre la diagonal y el lado de un cuadrado, son aproximaciones a raíz de dos en una centésima, construcciones que perduran en el tratado de López de Arenas.[7] O la relación entre el área de un cuadrado y un círculo, 9/8 entre diámetro del círculo y lado el cuadrado, que arroja una aproximación entre áreas de 5 milésimas por exceso, propuesta a la que se le puede seguir la pista desde el 1700 a.c. en Egipto, como ya se ha comentado. Durero en el XVI, pasados dos milenios, mantiene una aproximación similar, 5 milésimas por defecto, mediante la relación 10/8 entre diámetro del círculo y diagonal del cuadrado, lo que demuestra que esta geometría fabrorum mantuvo prácticamente inamovible durante muchos años ciertas propuestas suficientemente afinadas. El listado de ejemplos es numeroso, al que

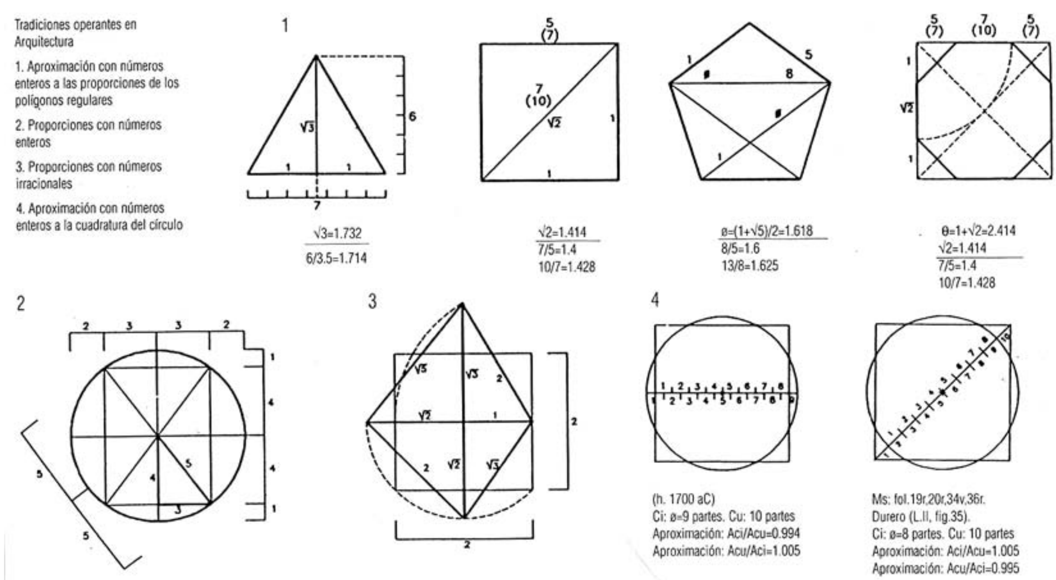

Figura 1

sumar recetas puramente geométricas como el dibujo y replanteo de un octógono, siempre con regla y compás, u otras de proporción, como se aprecia en la figura 1.

Pero no será hasta el siglo XIII cuando aparezcan trabajos en lenguas vernáculas que al menos permitan seguir la pista a este tipo de geometría, como la anónima *Pratike Geometrie* en dialecto picardo (Shelby 1972) o el manuscrito de Sainte Geneviève (Gimpel 1953), o el más conocido pero a su vez más anómalo *Cuaderno de notas* de Villard d'Hônnecourt,[8] maestro cantero del XIII, este último un conjunto asistemático de dibujos, textos y propuestas para el oficio, que no siendo un trabajo específico de geometría si aporta conocimientos necesario al profesional para los que la geometría resulta indispensable. El propio autor hace referencia a esta geometría para la construcción, «. . . técnica de las formas», especificando que es «. . . como lo enseña y requiere el arte de la geometría» (Bucher 1979). El dibujo del folio 20 que enseña a trazar en un claustro cuadrado un deambulatorio de igual área que el patio, es brillante como solución y como didáctica gráfica, tanto por su sencillez como por el uso práctico de la geometría. El dibujo habla por si mismo y para el que conozca las propiedades entre los cuadrados con vértices en los puntos medios de los lados de otro, es decir, las relaciones entre lados y diagonales respectivas, función de raíz de dos y por tanto doble relación entre sus áreas, no precisa de más explicaciones (fig. 2).

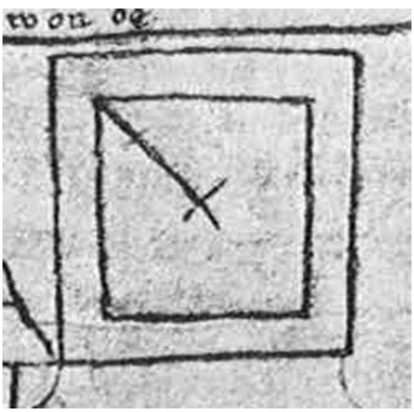

Figura 2

Existen más evidencias de esta tradición gremial geométrica, dado que la complejidad creciente de los edificios góticos daría una preponderancia cada vez mayor a los métodos de la geometría fabrorum, capaces de coordinar a través de fórmulas geométricas la totalidad de los elementos y detalles de la construcción. Las soluciones propuestas son trazados proporcionales que facilitan el diseño formal y coordinan los distintos elementos necesarios para construir el edificio, apoyándose en un proceso gráfico-geométrico muy operativo, y puesto que las soluciones geométricas implican magnitudes en la construcción, sólo se necesita dimensionar un dato de partida y todos los demás quedan implícitos, a su vez el catálogo de soluciones mantiene independencia de la unidad de medida que pudiera emplearse en cada edificio.

La mayoría de estas evidencias, tratados tardomedievales que rompen el secreto gremial en el ocaso del estilo, enseñan la técnica de las formas, es decir, definen gráficamente una pieza a partir del trazado geométrico necesario para su control formal y dimensional, algo imprescindible para el trabajo estereotómico. Son los trabajos de Roriczer, Schmuttermayer, Lechler, Stromer, el español Rodrigo Gil de Hontañón, y algunos otros anónimos como el de master WG, el cuaderno de Viena o el de Dresde, todos ellos realizados a finales del XV o durante el XVI,[9] algunos poco difundidos. Contienen procesos empíricos, sin demostración ni razonamiento, recetas cerradas que sólo enseñan «a hacer» asistemáticamente con una didáctica farragosa, o bien colecciones de dibujos para la enseñanza, pero que gracias a ellos hoy podemos atisbar los procesos formales de los diseños góticos basados fundamentalmente en la geometría de los cuadrados (Shelby 1977; Ruiz 1987).

Especial mención merece un trabajo del maestro Roriczer escrito en Ratisbona hacia 1490 bajo el título *Geometría Deutsch*, porque de alguna forma arroja luz sobre los conocimientos de geometría de un arquitecto gótico tardío. Un opúsculo sobre ciertas cuestiones de geometría recogidas en once ilustraciones, donde el maestro demuestra sus conocimientos en dicho arte, abordando cuestiones que debemos suponer importantes cuando se redactan para ser perpetuadas. Para nosotros constituye un documento de geometría fabrorum de finales del XV, es decir, tardío, con el valor doble al ser final de una etapa y a su vez superponerse en el tiempo con otros trabajos de geometría de corte renacentista donde lo teórico y lo práctico comienzan a fundirse.

Por el contenido del citado trabajo se puede valorar, aunque sea parcialmente, por un lado el corpus constitutivo de la geometría práctica medieval a finales del XV, y por otro el nivel de conocimientos geométricos de un importante profesional. En síntesis, todo lo que explicita sobre geometría se reduce a siete breves propuestas resueltas con regla y compás: a) determinar dos rectas perpendiculares entre si; b, c, d) trazado de un pentágono, heptágono y octógono regular; e) cálculo gráfico del desarrollo de una circunferencia; f) determinar el centro de un arco, y g) obtener un triángulo de área igual a la de un cuadrado dado o viceversa. Un total de once dibujos que aporta a lo largo del opúsculo, organizados en la figura 3 de forma conjunta siguiendo el orden establecido por el autor. Un somero análisis

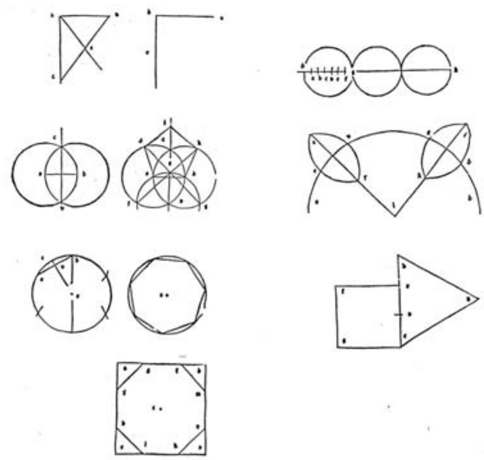

Figura 3

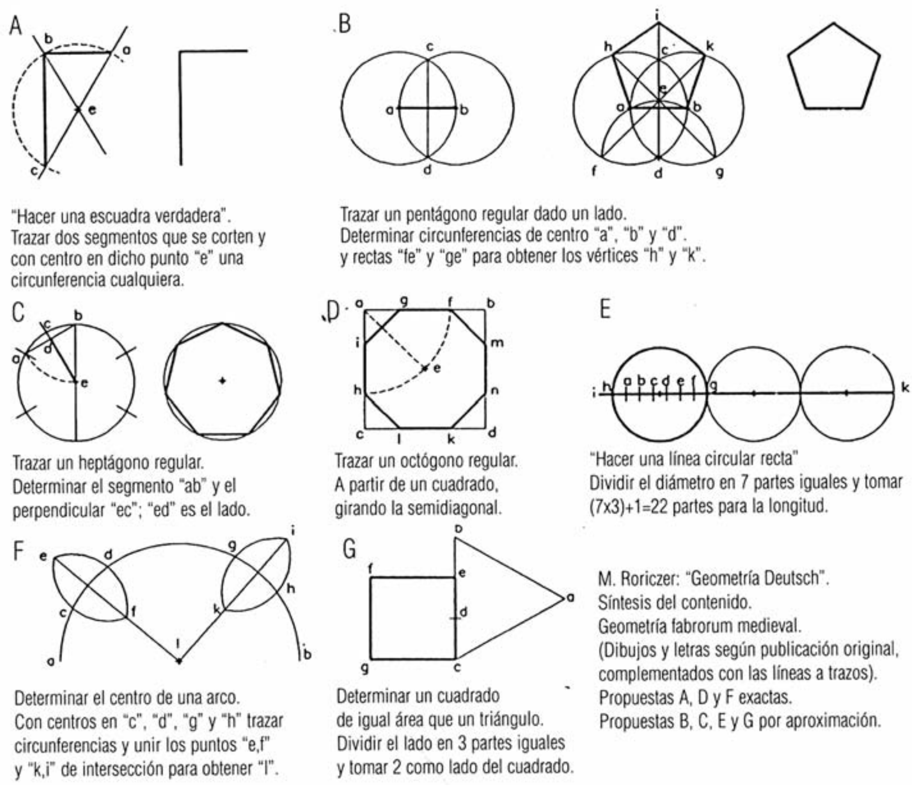

Figura 4

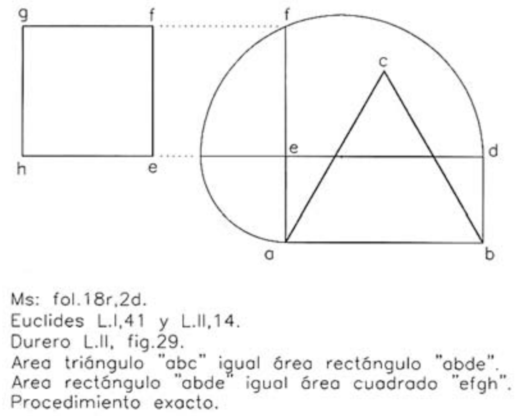

Figura 5

como el realizado en la figura 4, basta para comprobar que tres construcciones son exactas (a, d, f) y cuatro resuelven por aproximación (b, c, e, g), pero todas cumplen su cometido con un grado de precisión sobrado.[10] Este contenido, aunque parcial, parece ser el nivel de conocimientos geométricos necesario para el ejercicio profesional de un maestro cantero.

En 1576, Çamorano, un erudito afincado en Sevilla, había traducido al castellano los seis primeros libros de Euclídes. Durero en 1525 ya había publicado su *Underweysung* en Nuremberg, y arquitectos como Serlio o nuestro más próximo Hernán Ruiz, utilizaban y publicaban estos repertorios de geometría teórica a la par que sus heredados conocimientos prácticos. Pero estos son personajes del nuevo renacer imbuidos de otra cultura, capaces de fundir las dos ramas de la geometría. Así, como única geometría, permanecerá hasta nuestros días.

Sirva como muestra de este avance un dibujo aportado por Hernán Ruiz de tema recurrente: obtener un cuadrado de área la de un triángulo. El autor demuestra su conocimiento de las recetas medievales, por aproximación, y a su vez nos ofrece una solución exacta basada en la reflexión intelectual sobre ciertas proposiciones euclídeas, cuyo resultado (fig. 5) es un trazado geométrico sintético, brillante, de total exactitud. Pero esto pertenece a otra historia ya publicada.[11]

NOTAS

1. Calcula una diagonal a partir del lado del cuadrado, lo que remonta las bases empíricas del teorema de Pitágoras al principio del segundo milenio.
2. El cálculo del área de un círculo alcanza una ajustada solución en su equivalencia con la más fácil de un cuadrado, cuyo lado es 8/9 del diámetro, lo que aproxima el valor de las áreas hasta la centésima.
3. La Mecánica era la ciencia que recogía conocimientos teóricos del quadrivium y la física, y manuales de los oficios y las artes, con el fin de dar respuestas a los distintos problemas.
4. Una escuadra, o un ángulo recto, se traza de una forma exacta con los valores 3–4–5 como lados de un triangulo, formula que trasciende a los oficios desde la más remota antigüedad y que posteriormente Pitágoras convertiría en teorema de la geometría teórica. Isidoro, a su vez, ofrece otra receta artesanal, por aproximación, mediante la relación diagonal y lado de un cuadrado de valores 34 y 24 pulgadas, (Isidoro XIX, 18, 1).
5. Anales de la Catedral de Milán, publicados completos en *Annalli della fabbrica del Duomo di Milano dall'origine fino al presente*, Milán, 1877–1885.
6. Las dimensiones propuestas para la fachada eran 96 cuantitas de ancho, 12 unitas (gran unidad) de 8 cuantitas (codos milaneses), y 84 cuantitas de alto, 12 unitas de 7 cuantitas. La propuesta se apoyaba con un diagrama geométrico.
7. Diego López de Arenas en su *Breve compendio de la carpintería de lo blanco y tratado de alarifes*, editado en Sevilla en 1633, ofrece estos datos que recoge de la tradición. Cfr. La publicación de 1982 de Albatros en la colección Juan de Herrera.
8. Villard de Hônnecourt (117–1240), *Cuaderno de notas*, Bibliothèque Nationale, Paris, MS fr 19.093. Cfr. (Bucher 1979; Erlande 1991).
9. Mattäus Roriczer, *Büchlein von der fialen Gerechtigkeit* (1486), y *Wimpergbüchlein* , mmss copias en Colonia, incunables en Nuremberg, Stadtbibliothk, Math. 484; Hans Schmuttermayer, *Fialenbüchlein* (1498), Nuremberg, Germanisches Nationalmuseum, inc. 8.º 36.045/K 497; Lorenz Lechler, *Unterweisung* (1516), ms copia en Colonia, Historisches Arch. Handschrift Wf* 276; *WG* (Cuaderno de Frankfurt, 1572), Frankfurt-am-Main, Städelschen Kunstinstitut 8–494; Rodrigo Gil de Hontañón, capítulos I a VI de la obra de Simón García *Compendio de Arquitectura Simetría de los templos* (1681–83), ms 8,884 Biblioteca Nacional; Wolfgang Rixner (Cuaderno de Viena 1445–1515); Jacob Strommer (Cuaderno, 1561–1614); Cuaderno de Dresde (1544–67), Biblioteca Nacional de Viena. Algunos sin estudiar a fondo en la actualidad.

10. En la determinación gráfica del desarrollo de la circunferencia se obtiene un valor para pi = 22/7 = 3,1428 (aproximación de milésima respecto a 3,1416). En la igualdad de áreas entre cuadrado y triángulo, el valor de raíz de tres = 16/9 = 1,777 (aproximación de centésima con 1,732).
11. Cfr. Ruiz de la Rosa, capítulo «El Libro de Geometría», en el tomo II (Jiménez 1998), cuyo primer tomo es el facsímil del manuscrito atribuido a Hernán Ruiz y depositado en la Escuela de Arquitectura de Madrid.

Lista de referencias

Baron, R. 1955. Sur l'introduction en Occident des termes 'geometria teórica et practica' . *Revue d'Histoire des Sciences et de leurs applications* 8: 298 y ss.

Branner, R. 1961. Jean d'Orbais and the Cathedral of Reims. *Art Bulletin* 43: 131–133.

Bucher, F. 1979. *Architector. The lodge books and sketchbooks of Medieval Architects*. New York.

De Bruyne, E. 1958. *Estudios de estética medieval*. Madrid.

Downey, G. 1946–48. Byzantine Architects: their training and methods. *Byzantion* 18: 99–118.

Erlande-Brandenburg, A. et al. 1991.*Villard de Honneourt*, Madrid.

Frankl, P. 1945. The secret of the mediaeval masons. *Art Bulletin* 27.1.

Gimpel, J. 1953. Sciences et techniques des maitres maçons du XIII siècle. *Techniques et Civilisations*. 2, 5–6: 147–151.

Jiménez, A. et al. 1998. *Libro de Arquitectura*. Sevilla. Facs. y estudios.

Lewis, B; CH. Pellat, y J. Schacht, 1965. *Encyclopédie de l'Islam*. Paris.

Mieli, A. 1946. *Panorama general de Historia de la Ciencia. El mundo Islámico y el Occidente Medieval Cristiano*. México.

Peet, E. 1923. *The Rhind Mathematical Papyrus*. Londres.

Rey, Abel. 1943. *La Ciencia Oriental antes de los griegos*. Paris.

Rey, Abel. 1961. *La juventud de la Ciencia Griega*. México.

Ruiz de la Rosa, J. A. 1987. *Traza y simetría de la Arquitectura*. Sevilla

Shelby, L. R. 1972. The geometrical knowledge of mediaeval master masons. *Speculum* 47, 3: 395–421.

Shelby, L. R. 1977. *Gothic design techniques*. Illinois.

Tannery, P. [1887] 1988.*La Géométrie Grecque*. Paris.