

## EL LEVANTAMIENTO, LA METROLOGÍA Y LA GEOMETRÍA

AUTORES:

Concepción López González

Jorge García Valldecabres

El estudio de la metrología y de las trazas de un edificio histórico es un tema al que no se está dando la importancia que merece. En los concursos para la redacción de estudios previos, proyectos de intervención o planes directores destinados a la puesta en valor de un edificio histórico con valor patrimonial no suele contemplarse este tipo de análisis.

### RUIZ DE LA ROSA Y MERINO DE CÁCERES

A la luz de las investigaciones desarrolladas por los profesores Soler Sanz y Ruiz de la Rosa de las universidades de Valencia y Sevilla respectivamente y de las llevadas a cabo en el ámbito de la Historia de la Ciencia por el CSIC de la Universidad de Valencia dirigidas por el profesor Ten Ros, como las aportaciones de López Piñero para el estudio de la ciencia española y el estudio realizado sobre pesos y medidas en la monarquía hispana por el profesor Salvador Peláez por citar sólo unos pocos, se está dando la importancia que merece a un tema que hasta hace pocos años había estado olvidado.

Sin embargo, en muchos casos, es determinativo para poder establecer la evolución constructiva de una arquitectura histórica, lo cual afecta a las conclusiones historiográficas. Pero estos análisis nos aportan mucha más información ya que en muchos casos también afecta al diseño de elementos constructivos desaparecidos o a la determinación de las estructuras originales de la construcción. El estudio de las trazas permite establecer las hipótesis de diseño original del edificio por el maestro o arquitecto: *toda planta y estructura compositiva de una crucería debe contener alguna forma geométrica premeditada, por lo tanto tan sólo nos resta tratar de encontrarla*<sup>1</sup>.

El conocimiento de estas fórmulas y juegos geométricos empleados por los maestros para el diseño de las construcciones ayuda considerablemente al conocimiento del edificio, de sus orígenes, de su historiografía y, consecuentemente de su comprensión. Los análisis de trazas y los estudios metrológicos resultan de gran importancia en la redacción de los estudios previos conducentes a la intervención de un edificio.

El uso de la geometría en arquitectura es patente ya en el mundo antiguo; en la antigua Grecia se utilizaban fórmulas numéricas para proporcionar elementos arquitectónicos a partir de otros, tradición que recoge el propio Vitruvio de lo que Euclides codificó y sistematizó hacia el 320 a.C. en su *Elementos*. Esta tradición ha formado parte del conocimiento de arquitectos y artesanos durante muchos siglos como lo demuestra el uso de fórmulas numéricas simples para la construcción de altares y edificios en los textos bíblicos<sup>2</sup>, donde los altares se diseñan basándose en el cuadrado (1:1) y el doble cuadrado (1:2) y la planta de los templos se corresponde en muchas ocasiones con la sección áurea<sup>3</sup>. Posteriormente, las vamos a encontrar en la mayoría de edificios públicos (tanto religiosos como civiles) a lo largo de la historia. Es en el Renacimiento cuando estas fórmulas numéricas que ayudan a proporcionar el diseño de una construcción fueron estudiadas y documentadas con mayor precisión por los tratadistas.

---

<sup>1</sup> NAVARRO FAJARDO, JUAN CARLOS “Bóvedas góticas de la Catedral de Orihuela (Alicante)”. Revista EGA, nº 11 año 2006. pag. 148

<sup>2</sup> Sobre todo el Exodo, capítulos XXV a XXVII y XXXVI a XXXVIII, donde se dan instrucciones precisas sobre las medidas del arca de la Alianza, de los altares y de los templos.

<sup>3</sup> En el Libro de los Reyes VI, 2 aparece: “La Casa que el rey Salomón edificó para Yahvé tenía sesenta codos de largo, veinte codos de ancho y treinta codos de alto. Delante de la Casa había un pórtico de veinte codos de largo, correspondiente al ancho de la Casa, y de diez codos de fondo por delante de la Casa”

La expresión gráfica de las trazas, entendidas como esquemas geométricos, tiene su origen en la concepción del propio diseño arquitectónico, que se manifiesta y trasciende el pensamiento como respuesta a la necesidad de elaborar un programa de organización espacial previo al desarrollo de la puesta en obra de un edificio, adquiriendo de este modo el control constructivo de la forma arquitectónica. Desde muy antiguo los constructores se basaban en la geometría para la elaboración de este programa de diseño tal como indica el profesor J. Antonio Ruiz de la Rosa<sup>4</sup>. Con el tiempo el uso de procedimientos geométricos para conseguir *proporciones perfectas* pasó de ser una necesidad de diseño a convertirse en una necesidad técnica y además estética.

Algunos autores explican la utilización de estas fórmulas geométricas como herramientas para el diseño de determinadas construcciones como consecuencia de la diversidad de sistemas de medidas que se utilizaban en cada lugar, fomentándose el uso de la proporción a través de una aplicación práctica de la geometría, *la geometría fabrorum*.

Esta tradición geométrica comienza a operar en occidente en edificios tardorromanos de planta central, tiene su pervivencia en el arte bizantino e islámico, para alcanzar su madurez en los métodos empleados por los canteros medievales. El diseño de los edificios se realizaba a partir de una trama geométrica (trazado regulador). Mediante el uso del trazado regulador los constructores medievales eran capaces de realizar operaciones gráficas sin necesidad de utilizar escalas ya que todos los elementos están referenciados respecto a uno fijado previamente. Esta trama sólo se descubre al realizar el correspondiente levantamiento gráfico del mismo. Es entonces cuando apreciamos la utilización de sencillas figuras geométricas para su elaboración: cuadrados, ángulos rectos, círculos, triángulos.... que debidamente relacionados componen una planta.

Los musulmanes ya tenían una amplia cultura geométrica como lo demuestra el hecho de que en el siglo XII se traduce del árabe al latín los *Elementos de Euclides* que fue un texto básico en la aplicación de la geometría al diseño y la construcción durante la Edad Media. Los musulmanes manejaban, por lo tanto, sencillos métodos geométricos en la práctica de los oficios basados en los principios de la geometría de la regla y el compás, sin prácticamente ningún apoyo matemático.

Cuando en el s. XI los cruzados llegan a Oriente, tienen conocimiento de la geometría a través de la explotación de las bibliotecas bizantinas tras la toma de Constantinopla en el año 1204 y del propio aprendizaje de las obras transmitidas por los musulmanes a través de la práctica de los oficios, monumentos inspirados por la escuela que floreció en Alejandría de Egipto justamente antes del nacimiento del Islam (teoría promulgada por Viollet-le-Duc). Los estudios de Dieulafoy y Émile Mâle pusieron de manifiesto otra vía de acceso de los elementos árabes, irano-sirios y egipcios por África del Norte y España. *Según uno y otro, fueron los monjes cluniacenses quienes (observadores eclécticos y grandes constructores) recogieron, transmitieron, y luego injertaron el arte ojival de Siria y Egipto en el misticismo de violento empuje vertical del año 1000. La tesis de la vía española, a mi juicio suficientemente fundada por los autores precitados, hace menos arbitraria la denominación de gótico dada al estilo que siguió al periodo románico, pues fue en verdad una España gótica la que los árabes invadieron en el siglo VIII y la que en el siglo IX reconquistó la antigua capital del rey Wamba.*<sup>5</sup> En cualquier caso, bien por la vía francesa o bien por el norte de África, la influencia de la arquitectura oriental sobre occidente es patente, sobre todo en España donde ambas vías confluyen y donde el dominio islámico todavía permanecía en gran parte del

---

<sup>4</sup> RUIZ DE LA ROSA, JOSE ANTONIO, "Traza y simetría de la arquitectura. En la antigüedad y medievo". Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla, 1987. En la página 18 expone: "La precisión conceptual y comunicativa de la geometría, su capacidad de definición de las formas planas y tridimensionales, de sus relaciones y combinaciones, ha estado presente desde los comienzos de la arquitectura como arte: la geometría es la base de toda articulación arquitectónica".

<sup>5</sup> MATILA C. GHYKA "Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes". Ed. Poseidón. Barcelona 1983. pag. 207

territorio. Es lógico, por tanto, que las figuras geométricas empleadas en el diseño de construcciones del medio oriente, también las encontremos en la arquitectura medieval española.

Junto con el reconocimiento de una marcada geometría sobre el trazado de las construcciones, también desde antiguo se empleaban sistemas de medidas basadas en las proporciones humanas como es el caso del codo que fue utilizado por el mundo antiguo, siendo su traducción al sistema de medidas internacional entre 47.14 y 49.99 cm., y a su vez subdividido (según zonas geográficas) en pies, palmos y otros nombres menos comunes empleados a lo largo de toda la historia<sup>6</sup>.

La utilización del sistema duodecimal se debe principalmente a la posibilidad que tiene de permitir un alto número de divisiones elementales (2, 3, 4, 6) que evitan el uso de quebrados.

En la época medieval, se acentúa la dispersión dimensional en los patrones, variando el sistema de medidas utilizado según la zona geográfica. Los diversos sistemas de medidas utilizados en España tienen sus orígenes en el sistema metroológico romano, de carácter antropométrico, con múltiplos y submúltiplos del pie según el sistema sexagesimal (heredado de la cultura oriental siria). Tras la disgregación del imperio romano, se pierde esta unidad metroológica apareciendo variantes regionales o locales.

La Vara adquiere gran protagonismo suplantando en buena parte al pie<sup>7</sup> ya que la vara tiene una dimensión cómoda para ser utilizada por constructores y comerciantes. En la Corona de Aragón, una vara contenía 4 palmos. En Aragón el palmo era de 19.4cm y la vara de 77.7cm aproximadamente. En el Reino de Valencia el palmo era aproximadamente de 23cm. y la vara de 91cm. según establece Gabriel Ciscar en su tabla de equivalencias entre los sistemas empleados en el territorio español y el sistema métrico decimal, tras realizar un minucioso estudio de las medidas empleadas en cada lugar. Juan Bautista Corachan<sup>8</sup>, matemático del siglo XVIII, escribe: *12 palmos, pies, ó varas de Valencia son 13 de Castilla. Mas 44 palmos de Valencia hacen 51 de Zaragoza, y 50 de Barcelona, y Mallorca según Puig; pero según Cortés, 100 palmos de Valencia son 114 de Aragón. El pie de Valencia es igual al Geométrico, o Romano antiguo.* Lo cual demuestra la abundancia de sistemas de medidas existentes sólo en el ámbito de la Corona de Aragón. En algunos casos estos patrones de medida eran materializados sobre una superficie para facilitar a los operarios que intervenían en la construcción de un edificio la toma directa de ciertas medidas. Es el caso de la piedra véscica hallada en el Monasterio de Veruela donde es posible reconocer hasta tres tamaños de pie y diferentes círculos entrelazados a modo de plantilla para la formación de los sillares de las pilastras (*figuras 1, 2 y 3*).

Hasta 1852 no se realiza una homogeneización de medidas para toda España<sup>9</sup>.

---

<sup>6</sup> CISCAR, GABRIEL, miembro de la comisión de pesos y medidas del Instituto Nacional de Francia por parte de S.M.C., en su memoria "Memoria elemental sobre los nuevos pesos y medidas decimales fundados en la naturaleza". Año de 1800, escribe: *Este es el origen de las medidas conocidas con el nombre de "dedo", "pulgada", "seme", "palmo", "pie", "codo", "paso", "estado", "brazo". Desde luego se advierte que el dedo, el pie, el estado, naturales, sólo pueden tener uso en las medidas muy groseras.* pag. 1

<sup>7</sup> MERINO DE CÁCERES, J. "Planimetría y metrología en las catedrales Españolas" Tratado de Rehabilitación TomoII. Editorial Munilla-Lería. Madrid, 1999. pag. 36

<sup>8</sup> CORACHAN, JUAN BAUTISTA. "Aritmética demostrada teórico-práctica para lo matemático y mercantil" 2ª impresión corregida y aumentada) Barcelona, impresor Pablo Camping, 1735. pag 30

<sup>9</sup> ARAVACA Y TORRENT, ANTONIO "Balanza métrica, ó sea Igualdad de las pesas y Medidas legales de Castilla, las de cuarenta y nueve provincias de España, sus posesiones de ultramar, isla de Cuba, Puerto Rico y Filipinas, y las de Francia, Inglaterra y Portugal; todas las del Sistema Métrico y viceversa así como las de una provincia o nación con las de otra. Impresor José Doménech, Valencia 1867. Este libro comprende además una breve reseña histórica de las pesas, medidas y monedas, nociones de aritmética decimal y finalmente, varias pesas, medidas y monedas usadas por los antiguos. En la página 368 expone una tabla de equivalencias.

Es por ello que se hace imprescindible el análisis metrológico cuando se aborda el estudio previo de un edificio histórico. La aplicación del sistema métrico decimal al levantamiento de planos de un edificio cuyo sistema métrico estaba basado en el sistema duodecimal puede conducirnos a interpretaciones erróneas. Los estudios metrológicos permiten obtener información muy valiosa para el reconocimiento de las etapas constructivas de un edificio, así como para la determinación de los artífices y maestros que lo han llevado a cabo. Es habitual que en un edificio histórico encontremos diferentes sistemas de medidas empleados para su construcción, dependiendo del momento histórico o del lugar de origen del maestro de obras que lo diseña y dirige. Este es el caso de la iglesia de San Miguel de Foces en Ibieca (Huesca) donde ha sido posible determinar las dos etapas constructivas que tuvo este templo gracias al estudio metrológico efectuado, por el que ha sido posible comprobar que la nave fue construida utilizando medidas aragonesas y sin embargo para la formación del crucero y ábside fueron utilizados los palmos valencianos.

De esta manera se establece que el diseño arquitectónico se fundamente en conceptos de pura geometría donde se conjuga la modulación y la proporción relacionadas con la aritmética, al que se suma en muchos casos un simbolismo religioso.

**El cuadrado** está considerado como la *unidad principal* que gobierna el diseño arquitectónico. Este módulo, se multiplica, se divide, se dobla, se gira, para obtener las plantas de los edificios (*figura 6*). Existen, según Bucher, dos subcategorías en el empleo del cuadrado: el *diagon* y el *auron*. El primero es un rectángulo construido a partir de un cuadrado cuya diagonal genera, al abatirla sobre un lado, el lado mayor del rectángulo (*figura 7*). El *auron* o sección Áurea es el que se genera a partir del cuadrado que se duplica en dos y con la diagonal del nuevo rectángulo abatida sobre el lado se consigue el lado mayor del nuevo rectángulo (*figura 8*). Como vemos, el trazado de ambos rectángulos es sencillo y puede obtenerse utilizando unas lienzas. Encontramos que una de las proporciones más utilizadas es la del *auron* o de la *medida cierta*, heredado de la tradición Vitruviana basado en la demostración de Platón de cómo doblar un cuadrado.

### **Capilla funeraria**

Su giro a 45° proporciona el octógono del ábside. Esta pequeña construcción, que originalmente estuvo situada en el centro del espacio cementerial, supone un magnífico ejemplo de proporcionalidad y equilibrio entre todas sus partes (*figuras 9, 10 y 11*). Algunos autores la han considerado la maqueta del templo principal basándose en la similitud de formas y ornamentación de basas y capiteles; sin embargo, para el diseño de la iglesia fue utilizado el *auron* como elemento regulador, mientras que esta hermosa capilla gótica se rige por la proporción *ad quadratum*, aunque el *auron* queda plasmado en el alzado oriental como consecuencia de la adición del ábside. La forma cúbica de la pequeña nave se acentúa mediante la insistencia del cuadrado en el diseño de los huecos e incluso de las plantillas para la formación de basas y capiteles. Todas las medidas se obtienen a partir del cuadrado principal, de tal forma que el hueco de los arcos de acceso es un cuadrado de lado la mitad del principal. Este mismo cuadrado es el que girado 45° conforma el octógono del ábside. Asimismo, el círculo inscrito en el cuadrado principal es el mismo que circunscribe los contrafuertes del ábside (*figuras 12, 13 y 14*). Evidentemente, el maestro autor de esta pequeña joya arquitectónica supo aplicar la geometría más sencilla con unos resultados estéticos de gran sensibilidad.

### **Torres de serranos**

También el cuadrado es la figura geométrica que Pere Balaguer utilizó para el diseño y composición de plantas y alzados en las Torres de Serranos (1393), donde el lado del octógono formado por el giro a 45° del cuadrado que conforma la planta de las torres que flanquean la entrada coincide con el lado del cuadrado que conforma el cuerpo central y el alzado (*figura 15 y 16*). La enorme masa constructiva de las Torres de Serranos queda perfectamente armonizada gracias a un alarde compositivo en el diseño, utilizando única y exclusivamente el cuadrado como figura base del

trazado regulador. Partiendo de la línea interior de la muralla y considerando el grosor de la misma, traza un cuadrado a una distancia menor que el ancho de la muralla de forma que sea posible la posterior salida desde el interior de la torre al paso de ronda. En este cuadrado quedará inscrita la torre de flanqueo y a partir del mismo será posible componer el resto de la planta: Ochavando este cuadrado y utilizando el lado de este octógono como módulo básico para desarrollar el resto de magnitudes, se construye un nuevo cuadrado de lado igual a dos veces el lado del octógono donde se insertará el cuerpo central. En este cuerpo central queda ubicada la puerta de acceso. La continuación de la línea interior de la muralla determina el lado del cuadrado del cuerpo central recayente al interior de la ciudad<sup>10</sup>. En esta magnífica construcción Pere Balaguer, como sucedía a otra escala con la capilla funeraria de San Juan del Hospital, es capaz de conseguir una perfecta armonía de proporciones utilizando exclusivamente el cuadrado como figura generadora de la trama geométrica

### **Ejemplos:**

En la Seu valentina encontramos la proporción áurea en los brazos del crucero, mientras que los tramos de la nave central se trazan *ad quadratum*<sup>11</sup>. El *diagon* es utilizado en la composición de los tramos de las naves laterales de Santa María de Morella (Castellón) y de Santa María de Sagunto. El *auron* aparece como trazado regulador en los tramos de la nave del Salvador de Sagunto, de San Juan del Hospital de Valencia<sup>12</sup> (*figuras 17, 18, 19, 20 y 21*) y de la arciprestal de San Mateo. Los tramos del transepto de Santa María de Benifassá se ajustan al rectángulo *auron* y los tramos de la nave a la proporción *diagon*. Estos son sólo unos pocos ejemplos que nos muestran el amplio uso que se ha hecho del cuadrado como figura fundamental del trazado regulador, duplicándolo, partiéndolo, abatiendo su diagonal o transformándolo en el rectángulo áureo.

### **San Miguel de foces:**

También encontramos el cuadrado como figura geométrica generadora de la planta y las secciones de la iglesia de San Miguel de Foces de Ibieca (Huesca). La nave, que como vimos fue construida en el siglo XII, se enmarca en su exterior en un cuadrado y el espacio interior se acoge al *diagon*. El maestro de origen valenciano que amplió la cabecera del templo en 1248, utilizó el mismo cuadrado que rige la localización de los ejes de los muros de la antigua nave para diseñar el crucero y mantener así una continuidad en la proporciones (*figura 22*). Este mismo cuadrado, con lado la mitad, constituye la figura generadora del octógono de los absidiolos (girado 45°). El exterior del transepto se configura como un doble cuadrado (con línea de trazos en la figura). Asimismo, el interior de los brazos viene determinado por el *auron* que se origina a partir del cuadrado del crucero. Nada queda al azar y todo está diseñado desde el comienzo, incluso las alturas, que surgen en la bóveda de la nave a partir del mismo cuadrado que genera la planta, y en el crucero y acceso a los absidiolos como el *diagon* generado por el abatimiento de la diagonal del cuadrado mitad que origina la nave (*figuras 23 y 24*). Es evidente la maestría con que se resuelve la ampliación de la cabecera partiendo de las proporciones del antiguo templo. El resultado es una planta de gran desproporción cuando la vemos plasmada sobre el papel, pero de gran armonía cuando nos introducimos en el interior de esta misteriosa construcción.

**El triángulo** equilátero y sus derivados están consideradas figuras secundarias de menor importancia que el cuadrado a pesar de implicar una simbología relacionada con la Trinidad, sin

---

<sup>10</sup> LOPEZ GONZÁLEZ, C. “Las Torres de Serranos. Historia y restauración”. “Análisis gráfico de las Torres de Serranos”. Ayuntamiento de Valencia, Valencia, 2003. Pag. 107

<sup>11</sup> Sobre las trazas empleadas en la catedral de Valencia es de gran interés el artículo de NAVARRO FAJARDO, J.C. titulado “Las trazas de la catedral de Valencia. Hipótesis sobre su ichtnographia”. Revista EGA nº 8. Valencia, 2003

<sup>12</sup> GARCÍA VALLDECABRES, J. “Análisis historiográfico de la iglesia de San Juan del Hospital de Valencia. El cuaderno de fábricas, la métrica, las trazas, las monteas y las plantillas”. Actas del XI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. Sevilla, 2006

embargo tuvo un uso mucho más extendido y profuso del que algunos autores suponen<sup>13</sup>. El más conocido, llamado por la mayor parte de los autores *triángulo sagrado o egipcio*, es el triángulo rectángulo cuyos lados son proporcionales a los números 3, 4 y 5. Es el único triángulo rectángulo cuyos lados forman una serie aritmética. Era ya empleado por los agrimensores griegos y por los *harpedonaptas* egipcios para trazar ángulos rectos y rectángulos con una cuerda de nudos marcada en los 3/12, en los 4/12 y en los 5/12 de su longitud. Los arquitectos arqueménides y sasánidas se servían de ella para trazar los perfiles de sus cúpulas elípticas<sup>14</sup>. El triángulo isósceles formado por dos triángulos reunidos que tiene una altura de 5 unidades por una base de 8, ha sido ampliamente utilizado como elemento director del trazado vertical de varias catedrales góticas, en particular de Nôtre Dame de París. Con el giro del triángulo equilátero se consigue el hexágono, que por tener la propiedad, única entre los polígonos regulares de ser su lado igual al radio del círculo circunscrito, lo convierte en una figura de muy sencilla construcción y aparece en los estudios geométricos de los edificios como una consecuencia de las relaciones geométricas. Un ejemplo de ello lo tenemos en la iglesia de San Miguel de Foces y también en San Juan del Hospital de Valencia donde encontramos relaciones basadas en el sistema duodecimal (*figuras 25, 26, 27 y 28*).

Existe una figura geométrica, también utilizada por los constructores del medievo que, sin embargo, no es tan conocida: **el pentágono**. Tiene la ventaja de poder ser construido con una sola abertura de compás y su relación con la sección áurea (Lado pentágono estrellado / lado pentágono regular = número de oro) lo convierte en figura simbólica (los discípulos de Pitágoras dieron el puesto de honor al pentágono entre las figuras planas y utilizaron el pentágono estrellado o pentagrama llamado *pentalfa* como emblema de la salud y de la vida). Del pentágono se deriva el decágono también directamente relacionado con la sección áurea (Radio / lado del decágono regular = número de oro). *Asimismo, se compone de diez triángulos isósceles sublimes (de ángulos en el vértice iguales a 36°) yustapuestos en torno a un centro al que convergen sus vértices: ha sido empleado en arquitectura en el trazado del templo de Minerva Médica en Roma, del Mausoleo de Teodorico en Rávena, de la iglesia románica de San Gereón en Colonia y da también el trazado de uno de los rosetones de la Sainte-Chapelle.*<sup>15</sup>.

## Ejemplos

Encontramos numerosos ejemplos de ábsides decagonales entre el patrimonio arquitectónico religioso valenciano. El ábside y los absidiolos de la iglesia del Salvador de Burriana tienen diez lados al igual que la capilla mayor de la iglesia arciprestal de Santa María de Morella.

---

## Burriana

La relación existente entre el decágono y la sección áurea conlleva la utilización de esta última relación en la formación y composición del ábside del Salvador de Burriana (*figura 29*). Como puede apreciarse en la figura, el *auron* cuyo lado menor coincide con la distancia del lado del decágono al centro del círculo generador, proporciona el radio del círculo donde se inscriben los contrafuertes. Podemos encontrar en esta planta muchas más relaciones basadas en el *auron*, que no implican una intencionalidad del autor, sino más bien una coincidencia geométrica, dado los escasos errores de replanteo que pueden apreciarse y la gran variedad de relaciones geométricas que pueden ser deducidas del decágono.

---

<sup>13</sup> Al poco tiempo de dar comienzo las obras de la catedral de Milán (1386) se convocó una reunión de maestros extranjeros e italianos para debatir si la figura que iba a utilizarse sería el cuadrado, que ya había sido utilizado en el diseño de la planta, o el triángulo equilátero.

<sup>14</sup> MATILA C. GHYKA “Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes”. Ed. Poseidón. Barcelona 1983. pag. 63

<sup>15</sup> MATILA C. GHYKA “Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes”. Ed. Poseidón. Barcelona 1983. pag. 71

El empleo de todas estas formas geométricas, que se transformaban sin necesidad de grandes conocimientos teóricos, facilitaba el diseño de las plantas de los edificios, por lo que podemos afirmar que existía una ley compositiva, es decir, unas proporciones, tanto en las plantas como en los alzados. Las plantas y los alzados se solían diseñar mediante esquemas geométricos proporcionales: las trazas y las monteas. Estos esquemas necesitaban ser desarrollados mediante el estudio de los detalles de la labra de cada sillar, que necesitaban de unos dibujos más precisos: las plantillas. *La técnica del replanteo y montea era un sistema de trabajo muy desarrollado y eficaz, por lo que hay que suponer su existencia desde fecha muy anterior. Por otra parte, es una técnica que coincide en lo esencial con la de los egipcios, y existe la teoría de que fueron dos arquitectos samios los que la introdujeron en Grecia en el siglo VI*<sup>16</sup>.

El conocimiento teórico sobre estos temas no plantea dificultad, ya que se trata de exponer las diferentes formas geométricas más empleadas en el diseño de los edificios en cada etapa estilística, así como las unidades de medida utilizadas en cada una de ellas y las proporciones más comunes aplicadas desde la antigüedad. La auténtica dificultad se plantea cuando estos conocimientos teóricos tienen que ser aplicados sobre un edificio concreto. Es necesario emplear una metodología de trabajo basada en métodos sistemáticos para evitar extraer conclusiones más relacionadas con el azar que con un estudio riguroso.

En primer lugar es necesario recopilar toda información que dé orientación sobre proporciones, geometría y sistemas de medida utilizados a lo largo de la historia. Existe una amplia bibliografía en la que se expone un gran número de formas geométricas, proporciones y módulos<sup>17</sup>. Entraríamos aquí en analizar las diferentes formas geométricas más empleadas y su relación con diferentes series, como la serie de Fibonacci y la serie de Pell. Asimismo se pueden establecer las relaciones que unen estas formas con el número de oro o razón de la sección áurea, o bien con el número de plata y la proporción cordobesa<sup>18</sup>. Al mismo tiempo se hace necesario establecer cuáles son las formas geométricas y los trazados reguladores más empleados a lo largo de la historia, caracterizando la arquitectura de cada época<sup>19</sup>.

Una vez escogidas y analizadas las formas geométricas que hemos considerado como básicas para nuestro estudio, podemos plantearnos las vías o caminos a seguir para completar el análisis geométrico. Se hace necesario encontrar las relaciones que unen estas formas geométricas generadoras de una composición arquitectónica<sup>20</sup>; para ello es conveniente buscar una forma sencilla de aplicarlas a los planos del edificio que estamos estudiando.

La teoría de los estudios realizados por **Jay Hambidge**<sup>21</sup>, propone estudiar la disposición y las proporciones relativas, no ya de las líneas, sino de las superficies, lo que es natural cuando se trata de arquitectura. La planta de los templos egipcios y griegos, por ejemplo, es rectangular o está compuesta por una yuxtaposición de rectángulos (el cuadrado y el doble cuadrado figuran entre estos). Los alzados, pueden estar siempre encuadrados por rectángulos o combinaciones de rectángulos. El rectángulo es una superficie que puede servirnos para establecer el estudio de

---

<sup>16</sup> RUIZ DE LA ROSA, JOSE ANTONIO, "Traza y simetría de la arquitectura. En la antigüedad y medievo".

Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla, 1987. pag. 128

<sup>17</sup> El libro de Matila Ghyka "Estética de las proporciones en la naturaleza y las artes" plantea una extensa exposición de las diferentes formas geométricas y sus relaciones, estableciendo enunciados desde el punto de vista geométrico y aritmético, combinando de este modo la tradición numérica y la tradición geométrica que establece el profesor Ruiz de la Rosa.

<sup>18</sup> SOLER SANZ, FELIPE "Trazados octogonales" Edición propia. Valencia, 1989

<sup>19</sup> El profesor Ruiz de la Rosa, en su libro "Traza y simetría de la arquitectura" realiza un amplio recorrido por las diferentes épocas históricas, analizando la arquitectura que se realiza en cada una de ellas en función de la geometría empleada en su diseño, es decir, analizando los trazados reguladores que las han generado.

<sup>20</sup> En el libro de Neufert "El proyecto y las medidas en la construcción", en la pág. 206 describe de forma esquemática y rápida una serie de relaciones geométricas muy útiles y prácticas para el tema que nos ocupa.

<sup>21</sup> HAMBIDGE, J. "Dynamic Symmetry, *The Greek Vase*" Yale University Press. 1919

plantas y alzados. Por ello podemos partir de la base de que dos rectángulos de forma diferente se distinguen por la relación existente entre el lado mayor y el menor. Esta razón o *módulo n* es suficiente para caracterizar un rectángulo. Hambidge agrupa por una parte, todos los rectángulos cuyo módulo *n* es un número entero o fraccionario que él llama *estáticos*, y por otra aquellos para los que *n* es un nº inconmensurable *euclidiano* que llama rectángulos *dinámicos*. El cuadrado y el doble del cuadrado, de módulos 1 y 2, pertenecen tanto a la serie estática como dinámica. Hambidge llega a la conclusión de que todo el arte griego de la gran época (s. VI a II a.de J.C.), como antes el arte egipcio, estaba fundado en el empleo de rectángulos dinámicos, en cambio, las razones sencillas pueden aparecer entre las superficies, para las cuales las razones de semejanza son naturalmente proporcionales al cuadrado de la razón lineal correspondiente.

---

Michel Écochard<sup>22</sup> realiza un estudio sistemático de los trazados reguladores empleados en el diseño de edificios de planta central construidos entre los siglos V al X en Siria, Armenia, Italia y Francia. Sus conclusiones resultan sorprendentes por su similitud. El círculo de radio 26'87 m. parece estar presente en todos ellos. En este círculo, que denomina "círculo generador", se inscriben dos cuadrados desplazados 45°, de 38 m de lado que son la base del trazado organizador. Este círculo puede reducirse en algunos casos a otro de radio la mitad, es decir, de 13'43 m. de radio. Las diferencias halladas tras realizar un levantamiento muy riguroso de los diferentes edificios estudiados son mínimas y no sobrepasan unos pocos centímetros. Nos encontramos, por tanto, ante un proceso de diseño y construcción de edificios de planta central donde, además del empleo del consiguiente trazado regulador basado en cuadrados girados 45°, es utilizada una magnitud común a todos ellos: 26'87 m. (o su mitad) como radio del círculo generador. Esta coincidencia en las medidas de las formas geométricas que componen los trazados reguladores la basa Ecochard en la influencia que la arquitectura oriental tuvo sobre la arquitectura occidental: Esto es así de una región a otra, de orilla a otra del Mediterráneo, siendo difundidas y aplicadas las técnicas de construcción y de decoración, y reproducidos los numerosos motivos artísticos: la transmisión, no solamente de un plano arquitectónico, sino de sus medidas forma parte de estas aportaciones<sup>23</sup>. Esta afirmación la basa en el amplio espectro territorial que abarca la ubicación de los edificios estudiados.

### Ejemplos Ecochard

Encontramos más casos donde la utilización de una medida concreta aparece sistemáticamente en una serie de construcciones islámicas. El investigador soviético **Kpyukov** analizó una serie de edificios construidos a partir del s. IX en Asia Central y encontró que su trazado se ajustaba perfectamente a una cuadrícula de 42 x 62 cm., que ya fue representada por un maestro uzbeko del siglo XVI en una colección de dibujos donde se graficaron los módulos estructurales del plano<sup>24</sup>. *No parece haber la menor duda de que este era el método mediante el que se dibujaban, proyectaban y organizaban los edificios*<sup>25</sup>

El arqueólogo noruego **Lund** intentó descubrir los procedimientos de composición armónica de los arquitectos góticos. Después de un examen comparativo de algunos textos griegos y alejandrinos concluyó, que el rectángulo típicamente *heterómeco* cuya combinación con el cuadrado constituía

---

<sup>22</sup> ÉCOCHARD, MICHEL "Filiation de monuments grecs, byzantins et islamiques una question de géometrie". Direction Générale des relations culturelles, scientifiques et techniques. París, 1977

<sup>23</sup> ÉCOCHARD, MICHEL "Filiation de monuments grecs, Byzantins et islamiques una question de géometrie" Direction Générale des relations culturelles, scientifiques et techniques. Ministère des Affaires étrangères. París, 1977. pag. 40

<sup>24</sup> Esta colección de dibujos se conserva en los archivos del Instituto de la Academia Oriental de ciencias de la R.S.R. del Uzbekistán.

<sup>25</sup> MICHELL, GEORGE. "La arquitectura del mundo islámico". Alianza forma. Madrid, 1985. pag. 132

una clave de armonía, debía ser, precisamente, el rectángulo irracional áureo, es decir, el rectángulo de los *cuadrados giratorios* que también propugnaba Hambidge.

Lund<sup>26</sup>, habiendo estudiado los planos de la mayor parte de las catedrales góticas de Europa, encontró siempre en ellas el doble cuadrado y la sección áurea, tanto en la planta como en los alzados, siendo la resultante natural de un diagrama central en el que se combinan el pentágono, el cuadrado, e incluso el triángulo equilátero<sup>27</sup>. Analizando los trazados transversales condensados en los esquemas-tipos, Lund anota que la posición de los contrafuertes principales está dada, en general, por los lados del pentágono y del cuadrado, inscritos en el círculo director principal. Es por ello que Matila C. Ghyka denomina al método de Lund, *canon radiante* en contraposición al *canon rectangular* de Hambidge

**Viollet-le-Duc**, sin embargo propone ensayar los trazados reguladores de los alzados de las catedrales góticas por el método de los triángulos<sup>28</sup>. Encontró como triángulos generadores, o al menos regulares:

- El triángulo equilátero
- El triángulo isósceles que él llama egipcio y cuyas proporciones son cuatro unidades para la base y 2'5 unidades para la vertical trazada desde el vértice a la base.

### **Análisis de las plantillas**

Podemos determinar las formas geométricas de las plantillas empleadas en la labra de los sillares que componen los elementos constructivos. Conociendo estas plantillas podremos ser capaces de rediseñar nuevos sillares que sustituyen a los desaparecidos para la consiguiente puesta en valor del edificio histórico. Gracias a estos estudios de la geometría de las plantillas empleadas para la labra de los sillares que componían los arcosolios del cementerio de San Juan del Hospital de Valencia (*figura 30*) fue posible realizar la anastilosis de los mismos y llevar a cabo su recuperación<sup>29</sup> (*figura 31 a, b, c, y d*). La investigación sistemática de la geometría de los sillares que componen las dovelas, las jambas y la imposta del arco permitió establecer el lugar correcto en que estas piezas estaban ubicadas antes de su demolición y asimismo permitió fabricar nuevamente otras que habían desaparecido (*figura 32*).

### **Anastilosis de San Juan**

---

<sup>26</sup> LUND, "Ad Quadratum" 1921. Edición inglesa por B.T. Batsford.

<sup>27</sup> Recordemos que todas estas figuras están íntimamente relacionadas con el número de oro o razón de la sección áurea.

<sup>28</sup> Viollet-le-Duc cita especialmente a la escuela de arquitectura nestoriana de Alejandría heredera de los diagramas triangulares transmitidos en la pirámides.

<sup>29</sup> GARCÍA VALLDECABRES, J. / LOPEZ GONZÁLEZ, C. "La geometría en el proceso de restauración: anastilosis de arcosolios en el cementerio medieval de San Juan del Hospital de Valencia". Revista EGA, nº 10. año 2005. pag. 126