

UNA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LOS TRAZADOS REGULADORES CLÁSICOS DE LA ARQUITECTURA

Maria Concepción López Gonzalez

Jorge García Valdecabres. Universidad Politécnica de Valencia

Resumen:

El presente artículo plantea una metodología encaminada a obtener la hipótesis sobre las leyes de trazado que originaron una arquitectura concreta. Esta sistematización en el reconocimiento gráfico de una arquitectura histórica ayuda a establecer criterios objetivos de análisis y sirve de indicativo de las posibles conclusiones erróneas. Se hace un recorrido por diferentes teorías analíticas y por las diversas formas geométricas susceptibles de configurar un trazado regulador.

Antecedentes

La representación gráfica es la herramienta que facilita el medio de expresión a los artífices de la Arquitectura. Esta se encuentra íntimamente unida a la propia esencia del conocimiento, vertebrando el conjunto de actividades que se desarrollan a lo largo del proceso constructivo, ya sea en el momento de su génesis o concepción, como a lo largo de la puesta en obra, e incluso, durante la vida de los edificios. La representación gráfica, junto a las matemáticas, proporciona la estructura sintáctica y semántica que permite aprender, concebir y materializar la Arquitectura.

Las investigaciones realizadas por el profesor Soler Sanz sobre los trazados reguladores octogonales en la Arquitectura clásica permiten, por su carácter eminentemente

práctico, establecer las hipótesis de los trazados empleados a lo largo de la historia. Se trata de un estudio con un planteamiento didáctico, muy elaborado, basado en la experiencia de muchos años de investigación. El trabajo presenta una sistematización muy clara e invita a seguir el camino con nuevos análisis siendo la guía principal del presente estudio.

El profesor Gentil Baldrich realiza una magnífica presentación del libro en el que recopila un resumen del conjunto de investigaciones realizado por Soler Sanz. Elige como pórtico del prólogo la imagen de la marca del impresor *Baltasar Moreto* (1574-1641) bajo el bello lema "Labore et constantia".

La necesidad de no perderse en vericuetos mentales ha sido históricamente una constante: el equilibrio y el sentido de la medida - que simbolizada en el compás acompañó siempre a la iconografía del arquitecto - no solo representa un concepto métrico sino que, en su rica acepción, también es el de tener un sentido adecuado de la realidad..... Las reglas prácticas, las tablas sinópticas, los ábacos y cuadros resumen de los elementos y detalles arquitectónicos han estado siempre presentes en la exposición de la práctica de la disciplina. Esto abarca



Marca del impresor Baltasar Moreto (1574-1641)



Artífices aplicando los conocimientos geométricos en su oficio. De septem artibus liberalibus, manuscrito de la segunda mitad del siglo XV. Londres: British Museum.

desde los catálogos de elementos constructivos hasta los libros de órdenes arquitectónicos; desde las reglas de composición estética a las tablas de cálculo¹.

Propuesta para el desarrollo

En primer lugar se plantea la necesidad de situar el contexto histórico en torno al cual se desarrolló el programa edilicio del monumento para establecer las relaciones entre los distintos acontecimientos culturales y sociales. De esta manera, poniéndose en el lugar de los artífices, es posible comprender los principios y valores con los que aquellas gentes veían el mundo, expresado en el propio edificio.

Por ello, será necesario conocer los principios e instrumentos de razón que alumbran el quehacer arquitectónico asumido por los oficios en la construcción medieval y así desplegar sus mismos recursos y operaciones, tanto desde el punto de vista de la composición y el diseño, como desde el punto de vista de la aplicación en el proceso de la ejecución material.

En segundo lugar se hace necesario el levantamiento gráfico de la arquitectura, es decir, la toma de los datos, su elaboración e interpretación, fuente principal de conocimiento e hilo conductor del resto de las tareas a realizar.

Posteriormente, a través del uso de levantamientos rigurosos, se analiza la geometría y los sistemas de medidas autóctonos que son la materia conceptual y compositiva que define el apartado instrumental.

Seguidamente debe elaborarse un inventario y su consecuente catalogación de las distintas formas geométricas encontradas. Ello facilita la definición de los invariantes, extendidos y recopilados en los planos a escala.

Finalmente es posible realizar el estudio de las trazas y de la métrica que propiciaron el origen y el desarrollo constructivo del templo, y del conjunto de sus partes y elementos. A partir de esta documen-

tación se plantea el estudio del modo mediante el cual se fueron implantando a lo largo del tiempo los distintos modelos de trazado en la arquitectura antigua y bajo medieval.

Una de las mayores dificultades, se plantea cuando los conocimientos teóricos tienen que ser aplicados sobre un edificio concreto. Por ello, para evitar conclusiones consecuencia del azar, es necesario emplear un procedimiento de trabajo basado en un método sistemático hasta determinar la evolución constructiva y establecer referencias y prioridades.

Los instrumentos de análisis

La decisión del empleo de un determinado trazado se fundamenta en la necesidad de elaborar un programa de organización espacial previo al desarrollo de la puesta en obra del edificio. Tanto los constructores antiguos como los actuales, se basan en la geometría para la elaboración de este programa de diseño. Es una constante a lo largo del tiempo tal y como expone el profesor José Antonio Ruiz de la Rosa² :

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.

Algunos autores consideran que la necesidad que llevó a emplear fórmulas geométricas para el diseño de determinadas construcciones se debe al hecho de que en cada lugar se manejaban unidades de medida diferentes, por lo que se fomentó el uso de la proporción. Esta sería la causa de

que el diseño arquitectónico medieval se basase en conceptos de pura geometría, donde se conjuga la modulación y la proporción relacionadas en algunos casos con un simbolismo religioso.

El diseño de los edificios se realizaba, por tanto, a partir de una trama geométrica (trazado regulador) que sólo se descubre a través del correspondiente análisis gráfico sobre los planos elaborados con anterioridad. Es entonces cuando se aprecia que han sido utilizadas sencillas figuras geométricas para su elaboración: cuadrados, ángulos rectos, círculos, triángulos... que debidamente relacionados componen una planta.

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.

Junto al reconocimiento de una marcada geometría sobre el trazado de las construcciones se pone de ma-



Escena de dibujo sobre el terreno. Viollet-le-Duc, Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle

nifiesto que desde muy antiguo también se empleaban sistemas de medidas. Las figuras geométricas consideradas como “trazados reguladores” tenían unas dimensiones que se ajustaban a estos sistemas métrológicos. Desde la antigüedad las medidas estaban basadas en las proporciones humanas. Es el caso del codo, 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.

Centrándonos en la época medieval, se puede decir que el sistema de medidas utilizado variaba según la zona geográfica. Los diversos sistemas de medidas utilizados en España tienen sus orígenes en el sistema metrológico romano, de carácter antropométrico, con múltiplos y submúltiplos del pie según el sistema sexagesimal (heredado de la cultura oriental de Siria). Tras la disgregación del imperio romano, se pierde esta unidad metrológica apareciendo en su lugar variantes regionales o locales. La vara adquiere gran protagonismo suplantando en buena parte al pie³. Esta tiene una dimensión cómoda para ser utilizada por constructores y comerciantes. En la Corona de Aragón, una vara contenía 4 palmos o 3 pies. En el Reino de Valencia el palmo equivale a 23cm. y la vara a 91cm.

Los trazados reguladores

Los denominados “trazados reguladores”, como se ha expuesto anteriormente, consisten en formas geométricas simples, que transformadas mediante simples procesos geométricos pueden desencadenar una serie de formas geométricas más complejas que sirven para diseñar y establecer la organización espacial en planta (trazas) y la composición de alzados y secciones verticales

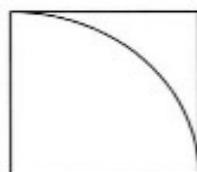
(monteas). Pasaremos a analizar brevemente cada una de estas formas genuinas.

a.- El cuadrado

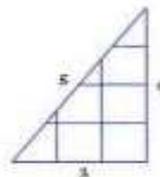
Está considerado como la *unidad principal* que gobierna el diseño arquitectónico. Este módulo se multiplica, se divide, se dobla, se gira, para obtener las plantas de los edificios. Existen, según Bucher, dos subcategorías en el empleo del cuadrado: el *diagon* y el *auron*. El primero es un rectángulo construido a partir de un cuadrado cuya diagonal genera al abatirla sobre un lado, el lado mayor del rectángulo. El *auron* o sección Áurea es el rectángulo que se genera a partir del abatimiento de la diagonal del semic cuadrado. El trazado de ambos rectángulos es sencillo y puede obtenerse utilizando unas lienzas. Se puede comprobar que una de las proporciones más utilizadas es el *diagon*, es decir, el rectángulo de relación heredado $\frac{1}{\sqrt{2}}$ de la tradición Vitruviana basado en la demostración de Platón de cómo doblar un cuadrado.

b.- El triángulo

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 embargo tuvo un uso mucho más extendido y profuso del que algunos autores suponen. 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 se encuentran formando una sucesión aritmética. Ya era 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. El triángulo isósceles, formado por dos triángulos rectángulos unidos por la altura que posee 5 unidades de lado por una base que se incrementa hasta 8 unidades, ha sido ampliamente utilizado como elemento director del trazado vertical de catedrales góticas, en particular de Notre Dame de París.



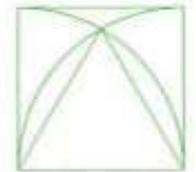
Ad cadratum



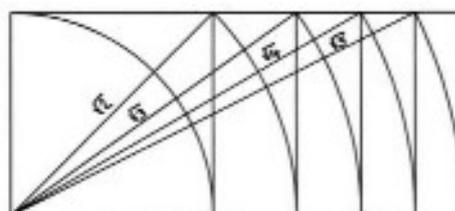
Triángulo egipcio



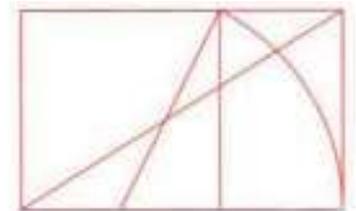
Triángulo Isósceles, Octágono



Triángulo Equilátero, Hexágono



Raíces Cuadradas proporciones dinámicas



Sección Áurea

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 de la circunferencia circunscrita, lo convierte en una figura de muy sencilla construcción y consecuentemente muy utilizada en los trazados reguladores medievales.

c. El pentágono

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°) yuxtapuestos 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, en el Mausoleo de Teodorico en Rávena, en la iglesia románica de San Gereón en Colonia y también se encuentra en el trazado de uno de los rosetones de la Sainte-Chapelle.*⁴

d.- El círculo

El círculo y los arcos de círculo se utilizan fundamentalmente para la formación de las bóvedas de crucería y para la ornamentación. Puede con-

siderarse la figura más utilizada y así el compás se convierte en el símbolo del arquitecto.

El empleo de todas estas figuras, manipuladas sin necesidad de grandes conocimientos teóricos facilitaba el diseño de las plantas de los edificios, por lo que se puede 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.

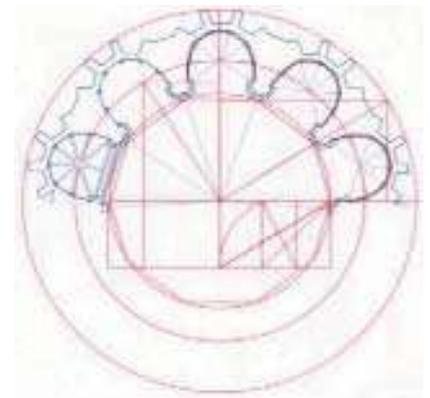
Estos esquemas también eran desarrollados para determinar el trazado de la labra de cada sillar. Se dibujaban a escala 1:1 y constituían las denominadas "las plantillas".

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 VI⁵.

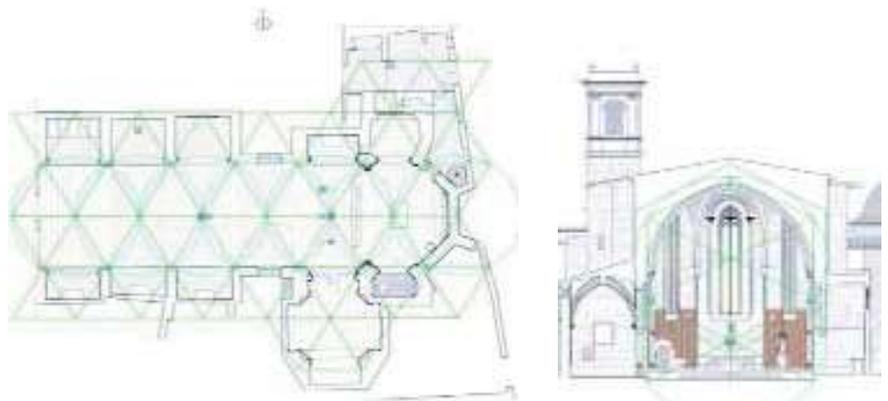
La metodología aplicada

En primer lugar es necesario recopilar toda información que

oriente sobre las proporciones, la geometría y los sistemas de medida utilizados a lo largo de la historia caracterizando la arquitectura de cada época y lugar⁶. Existe una amplia bibliografía en la que se expone un gran número de formas geométricas, proporciones y módulos⁷. Desde el análisis de las diferentes formas geométricas más empleadas y su relación con determinadas sucesiones de números como la sucesión de Fibonacci o de Pell hasta 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 cordobesa⁸ etc.



Trazado de la cabecera de la iglesia del Salvador de Burriana (Castellón). Siglo XIII



Superposición de una trama de triángulos equiláteros sobre la planta y la sección de la iglesia de San Juan del Hospital en Valencia

Una vez escogidas y analizadas las formas geométricas que se han considerado como básicas para el estudio, se plantean las vías o caminos a seguir para completar el análisis geométrico de un determinado edificio histórico. De esta forma, se procede a hallar las relaciones que unen estas formas geométricas generadoras de una composición arquitectónica⁹;

Diferentes autores propugnan diversos métodos de análisis geométrico: Jay Hambidge¹⁰, 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. Los alzados pueden ser siempre encuadrados por rectángulos o combinaciones de rectángulos. El rectángulo es, por tanto, una superficie que puede servir para establecer el estudio de plantas y alzados. Se pueden distinguir dos tipos de rectángulos diferentes dependiendo de la relación 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 número 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. Sin embargo la relación "auron" o "diagon" pertenecen a la dinámica.

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

En arquitectura bizantina y romana, el cuadrado y el rectángulo

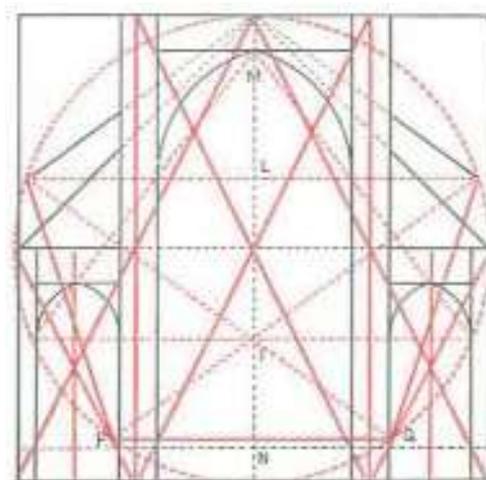
de módulo raíz de 2 son los que suministran temas dinámicos que derivan de la propia estructura de los monumentos, concebidos como volúmenes sencillos que se manifiestan tan sinceramente en el exterior como en el interior: cubo, hemisferio, cuboctaedro para las cúpulas bizantinas clásicas con adjunción o sin ella de cilindros, medios puntos, prismas octogonales, etc. Esto no impide que las superficies verticales sean a veces tratadas por una modulación que deriva de la sección áurea. Se puede decir, sin embargo, que en tesis general, el módulo de raíz de 2, que fluye naturalmente del cubo, del cuboctaedro y del prisma octogonal, es característico de la arquitectura bizantina y románica. Además, para las modulaciones verticales se encuentra a menudo en ellas el triángulo rectángulo isósceles, que es, a su vez, la mitad de un cuadrado cuya diagonal es la hipotenusa de aquél¹¹.

Lund¹², 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 equilátero¹³. 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.

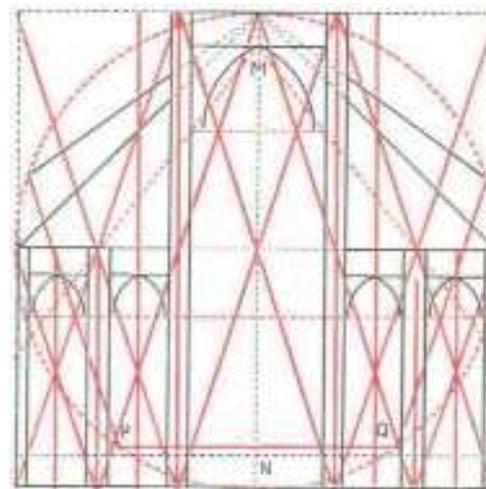
Viollet-le-Duc, sin embargo, propone ensayar los trazados reguladores de los alzados de las catedrales góticas por el método de los triángulos¹⁴. Encontró como *triángulos generadores, o al menos regulares:*

- el triángulo equilátero
- un 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.

Ghyka plantea la posibilidad de encontrar un cuarto procedimiento propuesto por Borissavlievitch y Fischbacher (1925), para averiguar las trazas y montañas de una arquitectura, partiendo de lo que denomina la *perspectiva óptico-fisiológica*. Delimita una superficie y fija en ella la distancia y altura del ojo de un observador, determinando el polo, la vertical y la línea de horizonte, a partir de los cuales halla todas las proporciones de los elementos interiores.



Esquema transversal de una iglesia gótica con dos naves laterales, según Lund (Matila G. Ghyka.)

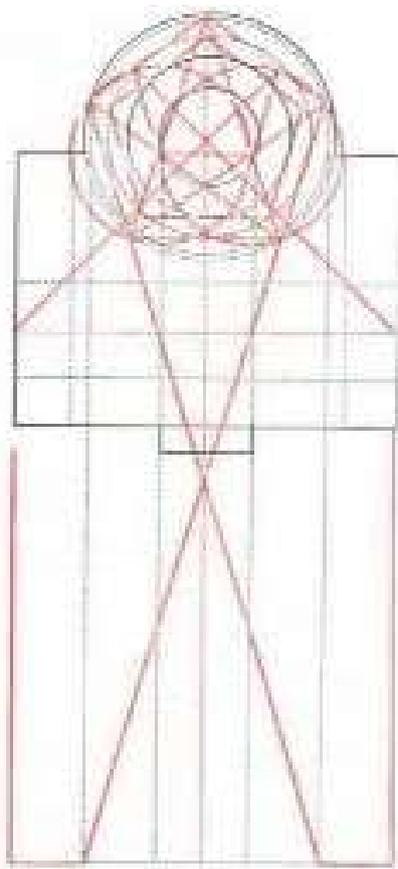


Esquema transversal de una iglesia gótica con cuatro naves laterales, según Lund (Matila G. Ghyka)

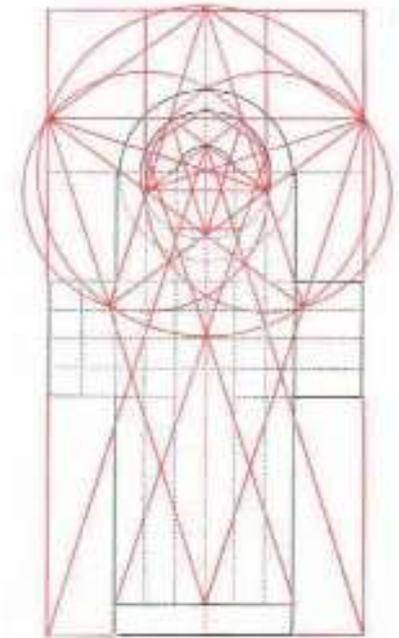
Este método *perspectivista* tiene una gran adaptabilidad para determinar las relaciones de ubicación y proporcionalidad de los elementos constructivos.

En resumen, todos estos procedimientos gráficos tienen por objeto común obtener la ley del trazado que originó una arquitectura concreta. Una combinación de todos estos métodos, donde el trazado regulador se ensaya mediante el métodos de triángulos (Viollet), el de los rectángulos (Hambidge), el del pentágono y círculo central radiante (Lund) y el perspectivista (Borissavlievitch y Fischbacher) permitirán obtener un extenso repertorio de las posibles trazas que originaron la construcción del edificio y la métrica empleada en cada una de las partes del edificio, además de un mayor conocimiento del elemento patrimonial arquitectónico.

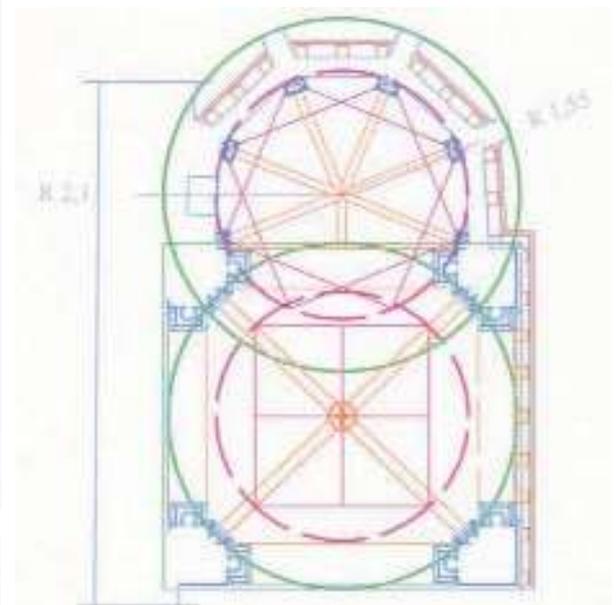
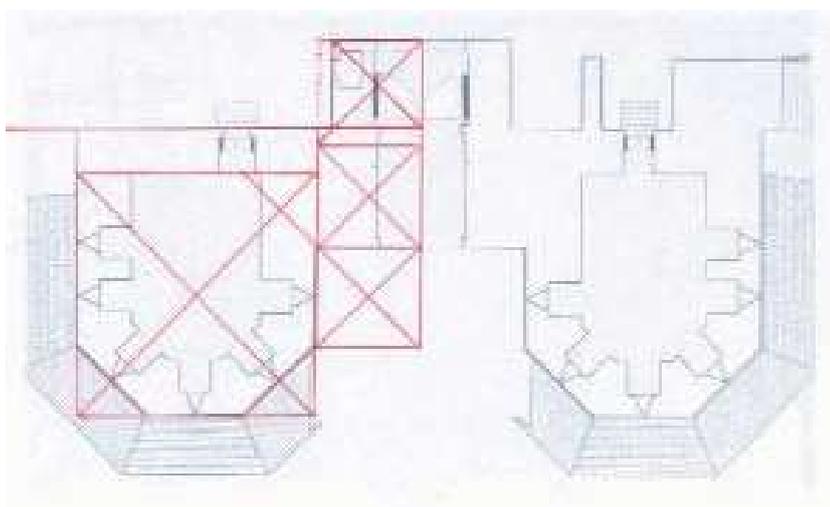
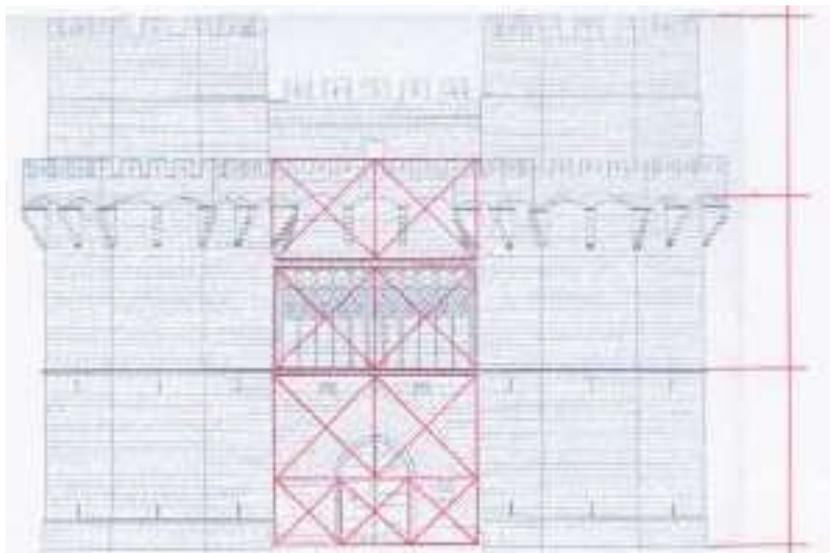
Seguidamente se exponen algunos ejemplos:



Trazado radiante de la catedral de Beauvais, según Lund (Matila G. Ghyka)



Trazado radiante de la catedral de Colonia, según Lund (Matila G. Ghyka)



El círculo y los cuadrados girados son el desencadenante de la geometría de la planta de la capilla funeraria de San Juan del Hospital de Valencia siguiendo la teoría de Lund

El cuadrado estático cuyo lado coincide con el lado del octógono que genera la planta de cada una de las torres es el trazado regulador del cuerpo central en las Torres de Serranos de Valencia. Este monumento sigue la teoría de Hambidge

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ GENTIL BALDRICH, J. M., Sobre las proporciones y los trazados de la Arquitectura. Prólogo al libro de SOLER SANZ, F., Trazados reguladores Octogonales en la Arquitectura Clásica. Ed. General de ediciones de Arquitectura. Valencia. 2008, Pág. 8

² RUIZ DE LA ROSA, J.A. Traza y simetría de la arquitectura. En la antigüedad y medieval. Ed. Servicios de publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla, 1987, Pág. 18.

³ MERINO DE CÁCERES, J. Planimetría y metrología en las catedrales Españolas. Lección 2. La memoria Histórica, Capítulo I, Metodología de la restauración y de la rehabilitación Tomo II. Tratado de Rehabilitación. Editorial Munilla-Lería. Madrid, 1999, Pág. 36.

⁴ GHYKA, M. Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes. Ed. Poseidón. Barcelona 1983, Pág. 71.

⁵ RUIZ DE LA ROSA, J.A. Traza y simetría de la arquitectura. En la antigüedad y medieval. Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla, 1987, Pág. 128.

⁶ El profesor RUIZ DE LA ROSA, en su libro, Traza y Simetría de la Arquitectura. En la Antigüedad y Medieval, 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.

⁷ El libro de MATILA GHYKA, Estética de las proporciones en la naturaleza y las artes, hace una extensa exposición de las diferentes formas geométricas y sus relaciones, estableciendo enunciados desde el punto de vista geométrico y aritmético, relacionando la tradición numérica y la tradición geométrica como establece el profesor Ruiz de la Rosa.

⁸ DE LA-HOZ ARDERIUS, R., La proporción Cordobesa, artículo publicado en la revista Cointra Press, cuarto trimestre. Alcalá de Henares (Madrid), 1976, Pág. 15-20.

⁹ En el libro de NEUFERT El proyecto y las medidas en la construcción. Pág. 206 describe de forma esquemática y rápida el empleo de una serie de relaciones geométricas.

¹⁰ HAMBIDGE, J. Dynamic Symmetry, the Greek Vase. Yale University Press. New Haven. USA 1919.

¹¹ GHYKA, M. Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes. Ed. Poseidón. Barcelona 1983, Pág. 204.

¹² LUND, Ad Quadratum. Edición inglesa por B.T. Batsford. London, 1921.

¹³ Recordemos que todas estas figuras están íntimamente relacionadas con el número de oro o razón de la sección Áurea.

¹⁴ VIOLLET-LE-DUC. La construcción medieval. Ed. Reverte, Madrid 2000; Cita especialmente a la escuela de arquitectura nestoriana de Alejandría heredera de los diagramas triangulares transmitidos en las pirámides