

Relaciones métricas en arquitectura. Análisis de tres propuestas

Por A. JIMÉNEZ

SEPARATA DEL LIBRO
HOMENAJE A SAENZ DE BURUAGA
EXCELENTISIMA DIPUTACION PROVINCIAL DE BADAJOZ
1982

RELACIONES METRICAS EN ARQUITECTURA. ANALISIS DE TRES PROPUESTAS

A. JIMENEZ

E.T.S. Arquitectura de
Sevilla

Un somero repaso a la historiografía de Arquitectura demuestra la variedad de enfoques distintos que se puede dar a la descripción, análisis y crítica de los objetos y situaciones arquitectónicos. Por sólo citar los más populares, recordaré los enfoques que acentúan lo estructural, los que reflejan aspectos espaciales, los marcadamente históricos o estilísticos, los de enfoque sociológico, los de tipo económico y tras ellos un largo etcétera (1). Uno de los más frecuentados, por sus pretendidas exactitud y trascendencia, es el enfoque matemático de las relaciones geométricas en Arquitectura; partiendo de la idea pitagórica de que «todo es número» y llegando a nuestros días con el «modulor» de Le Corbusier (2), la historia de nuestra disciplina está plagada de ejemplos de diseños y análisis que intentan alcanzar a la armonía a través de un proceso, más o menos lógico, en el que los factores numéricos y geométricos han jugado un papel preponderante (3).

Bajo mi punto de vista ninguno de aquellos enfoques, sobre todo en los ejemplos más depurados, son mutuamente excluyentes, sino que, para agotar el campo de investigación, debieran integrarse en una teoría general que los recogiera y superara dentro de un sistema coherente. Creo que esta articulación totalizadora es el Análisis de Formas Arquitectónicas; se trata de una asignatura ubicada en los primeros cursos de nuestras Escuelas de Arquitectura y que, desde 1914 hasta nuestros días (4), ha sufrido una notable mudanza de contenidos y métodos. Los sectores más progresivos de su docencia intentan constituir la como un sistema de análisis global, antiespeculativo y racional (5) que estudia la realidad arquitectó-

(1) Véanse numerosos ejemplos de un pasado relativamente reciente en B. Zevi, *Architettura in nuce. Una definizione de architettura*, Aguilar, Madrid 1969, o R. de Fusco, *La idea de arquitectura. Historia de la crítica desde Viollet-le-Duc a Persico*, Gili, Barcelona 1976. Estos por no mencionar los numerosos trabajos esotéricos que tan de moda están.

(2) Le Corbusier, *El modulor* (1 y 2), Poseidón, Buenos Aires, 1953.

(3) Véase P. H. Schöfield, *Teoría de la proporción en Arquitectura*, Labor, Barcelona 1971; Caporioni, Garlatti y Tenca-Montini, *La coordinación modular*, Gili, Barcelona 1971; M. Ghyka, *El número de oro* (1 y 2), Poseidón, Buenos Aires 1968; K. L. Wolf y D. Kuhn, *Forma y Simetría*, Eudeba, Buenos Aires 1969, y D. Pedoe, *La Geometría en el Arte*, Gili, Barcelona 1979.

(4) La denominación actual nace con el plan de 1957, pero ya en el de 1932 existía bajo el título de «Dibujo de Formas Arquitectónicas», que heredaba las enseñanzas que en 1914 se llamaban «Dibujo lineal, de figura y ornato» y «Copia de elementos decorativos».

(5) Para llegar a este punto ha tenido que desprenderse de todo aquello que era propiamente enseñanza de dibujo, que hoy (plan de 1975) se titula «Procedimientos de Expresión».

nica en una serie de campos autónomos, que no independientes, entre los que se establecen unas relaciones que van desde la «correa de transmisión» directa, del tipo causa-efecto, hasta la de carácter metafórico, inmersa en la poética personal. Estos sistemas autónomos, y sucesivos en el análisis, son: dos «intrínsecos» (masivo y espacial), dos «transitivos» (funcional y tecnológico) y uno «adherido» (semántico). En cada uno de ellos, procediendo por niveles jerarquizados (sincrónicos o diacrónicos), se determinan estructuras específicas, constituidas por determinados elementos, a los que se reconocen una serie de propiedades, y las relaciones establecidas entre ellos (6).

En este sucinto cuadro general ya podemos situar el tipo de análisis que pretendemos estudiar aquí. Los estudios «geométricos» sobre objetos arquitectónicos se refieren específicamente a las propiedades y relaciones de tipo métrico (7) que se determinan mediante procesos analíticos sobre configuraciones formales de los sistemas intrínsecos y que habitualmente se reducen a uno de sus polos dialécticos, como es el constituido por las masas arquitectónicas, dado que sus características visuales le confieren una cierta inmediatez perceptiva sobre los espacios que conforman (8).

Las relaciones de tipo métrico (9) se manifiestan en las formas arquitectónicas bajo cuatro aspectos muy interrelacionados entre sí y que son los metrológicos, los proporcionales, los de trazado y los modulares. Los primeros hacen referencia a todos los problemas derivados del concepto de Métrica, como es el del establecimiento de una unidad básica de medida, y su institucionalización social; los más habituales son la determinación de los nombres, equivalencias, múltiplos, submúltiplos, usos, áreas de implantación, variantes y demás aspectos conexos con las unidades usadas en otros tiempos. Sus principales fuentes son evidencias históricas directas (10), la confrontación de noticias documentales con la realidad física (11) y las repeticiones de medidas observadas en edificios antiguos (12).

(6) Este concepto del Análisis de Formas Arquitectónicas, que cuenta con precedentes estructuralistas *avant-la-lettre*, H. Sedlmayr, *Die Architektur Borrominis (I y II)*, Munich 1930, tiene un sólido apoyo en Ch. Norberg-Schulz, *Intenciones en Arquitectura*, Gili, Barcelona 1978.

(7) El concepto de lo métrico es muy restringido, y se define como un sector altamente elaborado y «abstracto» dentro del campo matemático; no debemos olvidar que las características arquitectónicas más insoslayables son las topológicas y a continuación las proyectivas. Cfr. J. Mosterin, «La estructura de los conceptos científicos», *Investigación y Ciencia*, 16, 82 ss.

(8) La «moda espacial» en la crítica arquitectónica se inició en los estudios de A. Schmarsow, *Zur Frage nach dem malerischen*, Leipzig 1896, 21 ss., pero su diseminación proselitista es de B. Zevi (v. g. en *Saber ver la Arquitectura. Ensayo sobre la interpretación espacial de la Arquitectura*; Poseidón, Buenos Aires 1951).

(9) Matemáticamente se trata de una función de medida definida en un espacio matemático gracias a la introducción del concepto «distancia» es decir, la correspondencia biunívoca entre dos elementos de un conjunto y un número tal que verifiquen una serie de condiciones.

(10) Así los patrones métricos hallados en Pompeya o ciudades romanas del Norte de Africa. Su existencia demuestra que esos patrones se usaban en los sitios donde se hallaron, pero creo que no siempre pueden extrapolarse con seguridad. Hace ya años que sospecho la presencia en la *Baetica* de un «pie romano» que tiene casi medio centímetro más de longitud que el canónico, con el que coexisten en determinados momentos, y que tal vez sea de procedencia púnica. Cfr. A. Jiménez, «Los Caños de Carmona; documentos olvidados», *Historia. Instituciones. Documentos* (2) 6. Las estadísticas recogidas desde la fecha de este artículo hasta hoy (sobre todo en el anfiteatro de Itálica) me hacen sospechar una diferencia aún mayor, próxima al centímetro.

(11) El mejor ejemplo que conozco es el de F. Hernández Giménez (*El codo en la historiografía árabe de la Mezquita de Córdoba*, Madrid 1961); la superabundancia de referencias islámicas

Este último método es sin duda el menos seguro, ya que, además de precisar una casuística amplia y fiable, debe verificarse con métodos estadísticos que hace ya muchos años que se usan en problemas similares (13).

El segundo campo, el de las proporciones entre partes de un edificio o entre dimensiones de un mismo elemento, está aún muy directamente relacionado con el campo numérico en el que se desarrolla básicamente lo metrológico (14). Partiendo de la definición de Euclides que hace equivaler proporción a «igualdad entre razones», la casuística arquitectónica que podemos detectar es muy abundante. Creo que es Vitruvio quien mejor resume las posibilidades de los sistemas clásicos de proporciones pero éstos presentaron numerosas variantes, algunas de las cuales eran más congruentes con los conocimientos aritméticos del momento que las recomendaciones vitruvianas (15). He de advertir que los sistemas proporcionales tienen su campo de aplicación más inmediato y perceptivamente fructífero en lo que se refiere a figuras muy sencillas, rectángulos como máximo, ya que, en caso de que éstas fueran más complejas, sólo se aplican a dimensiones básicas como son anchuras y alturas, es decir, las dimensiones de los «rectángulos-capaces» que las contienen (16). Aún en estos casos las proporciones son difícilmente perceptibles sin recurrir a operaciones analíticas, ya que sólo se manifiestan con mayor claridad en elementos verticales y muy rara vez en horizontales, dada la deformación que la perspectiva lineal introduce en las figuras vistas en escorzo. Por todo ello las proporciones se aprecian mejor en elementos masivos, que se vean completos, y en espacios (17).

El tercer campo de la métrica arquitectónica es el de los módulos, con los que damos un paso más hacia concepciones más «geométricas» de la forma y por tanto menos «aritméticas». Entiendo por modulación la repetición, más o menos sistemática, de una configuración (habitualmente una figura geométrica pregnan-

a las medidas básicas de la mezquita cordobesa, y el hecho de que ésta se conserve virtualmente intacta permitieron a mi maestro D. Félix determinar con toda exactitud y de manera inapelable las unidades metrológicas básicas de al-Andalus califal.

(12) Cfr. en metrología hispánica J. Roldán, «Sobre el valor métrico de la milla romana», *Actas del XI Congreso Nacional de Arqueología*, Zaragoza 1972, 533 ss; en época púnica véase el sugerente estudio de A. Jodin, *Recherches sur la metrologie du Maroc punique et hellénistique*, Tanger 1975.

(13) Determinado el supuesto patrón metrológico, se deberá comprobar si la dispersión de la muestra se ajusta suficientemente a una distribución normal, en «campana de Gauss» y verificarla, por medio de la prueba del «Chi-cuadrado» o alguna similar, para niveles de significación muy exigentes. Cfr. A. Jiménez, «Análisis de una propuesta de reintegración de formas arquitectónicas», *Boletín de Seminario de Estudios de Arte y Arqueología* (46) 165 ss.

(14) Por no tener aplicación directa a los tres ejemplos que analizaremos al final, no trato en este artículo de un quinto problema métrico, íntimamente relacionado con los sistemas de proporciones. Me refiero a las series numéricas, cuya simple definición nos llevaría lejos del eje de nuestros intereses actuales.

(15) El sistema vitruviano de proporciones no es rígido, como será siglos más tarde el renacentista; por no citar otros datos que los que se refieren a las proporciones entre miembros de una columna, está bien claro que las prescripciones vitruvianas autorizan hasta 16 soluciones métricas distintas para un mismo problema, dependiendo del tamaño y ciertas intenciones estéticas. A. Jiménez, *op. cit.*, 165.

(16) Uso esta palabra en la línea de «sólido capaz» que se aplica en Estereotomía, singularmente de piezas de cantería.

(17) En mi opinión las proporciones han de ser de naturaleza numérica tal, que permitan su percepción fácil. El Renacimiento elaboró unas específicas cuyos nombres fueron: cuadrada (1:1), sesquitercia (3:4), sesquicuarta (4:5), sesquialtera (2:3), dupla (1:2) y diagonal ($\sqrt{2}$:1) (Cfr. Scholfield, *op. cit.*, 72, por lo que se refiere a L. B. Alberti).

te) (18) cuyos vértices, líneas, superficies o ella misma como totalidad, sirven de guía o configuran directamente formas arquitectónicas (19). En la arquitectura antigua la modulación se manifiesta tanto en el uso que se hace de elementos seriados (columnas v. g.) como de tramas modulares cuyos vértices marcan la posición de aquéllos, amén de decoraciones. En opinión de Ch. Norberg-Schulz (20) los módulos, por su evidencia perceptiva basada en cualidades geométricas más generales y «primitivas» que las estrictamente métricas (21), son la verdadera base de las leyes «matemáticas» de la arquitectura. Los demás sistemas métricos, incluido el último que vamos a estudiar someramente, están tan influidos por las deformaciones del escorzo, que no se ponen de manifiesto si no es con el auxilio de un proceso analítico basado en la percepción.

Todos los instrumentos métricos anteriores, si sólo ellos existieran, proporcionarían una base demasiado monótona para el desarrollo de nuestra disciplina; este es, según creo, el problema de toda la arquitectura griega clásica o prehelénica en general, ya que se basó en leyes de muy escasa complejidad y por ello sus resultados fueron siempre muy parecidos, dado que las relaciones métricas establecidas fueron casi exclusivamente modulares y proporcionales. Con el Helenismo comienzan a usarse de manera generalizada los últimos artificios métricos que me quedan por relacionar: los trazados reguladores. Por razones varias (22) los miembros arquitectónicos se han ubicado o han estado configurados según los vértices, líneas o superficies de determinadas figuras geométricas que les sirven como pautas. La diferencia básica respecto a los módulos es que ahora no suele precisarse de la repetición y tienden a ser figuras complejas, habitualmente dotadas de simetría central (23). Evidentemente los trazados reguladores han existido desde que las plantas de los edificios adoptaron formas geométricas definidas: una casa neolítica usa como trazado regulador un círculo y el Partenón una serie de rectángulos (24); pero creo que el término debe reservarse para aquellas organizaciones complejas y elaboradas que nacen al final de la Antigüedad Clásica y que tienen su etapa más típica en la arquitectura bizantina. En este

(18) Pregnante en el sentido de la *Gestalttheorie*; como resumen véanse los artículos «Gestalttheorie» y «Percezione» en *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica* (2) 499 s. y (4) 407. Ni que decir tiene que sólo es pertinente deducir el uso en el proyecto de un edificio de un sistema de proporciones o módulos cuando éstos se basan en evidencias estocásticas bien establecidas.

(19) En esta definición cabe que el módulo sea lineal (con lo que estaremos de nuevo en proporciones), un polígono (que es el caso habitual) o una configuración de tres dimensiones (como por ejemplo el módulo espacial del Santo Espíritu de Florencia de Brunelleschi). Las taxonomías de módulos, amén de la dimensionalidad que acabo de señalar, pueden basarse en la evidencia (módulos explícitos o implícitos), la complejidad (básicos o derivados), las asociaciones de ellos (en relación topológica y/o métrica) etc.

(20) *Op. cit.*, 60 s.

(21) Las relaciones topológicas, que son las más universales y evidentes, se basan en leyes de la *Gestalttheorie* igualmente básicas y comunes (Proximidad, continuidad, clausura, inclusividad...); la percepción de módulos de base en las leyes de la geometría proyectiva, que a su vez tienen su correlato gestáltico en la ley de la semejanza, que junto con las anteriores, están bien lejos de lo métrico.

(22) Ya sean de pura economía, estéticas, funcionales o simplemente religiosas.

(23) Tan trazado regulador es un octógono (v. g. los que subyacen como pautas de muchos baptisterios) como un eje o un plano (v. g. la organización de la Basílica Ulpia).

(24) Tales figuras, cuya inmediatez perceptiva es bien directa, tienen la ventaja de no exigir una sustitución exactamente definida, cosa que es imprescindible en los trazados reguladores propiamente dicho.

momento histórico se documentan configuraciones cuya pauta planimétrica es de gran complejidad y fuerte centralización: en casi todos los casos se pueden explicar mediante un proceso de pasos intermedios que partiendo del perímetro exterior o del núcleo central, determinan el conjunto de manera inexorable; el caso más claro y mejor determinado que conozco es el de la «Cúpula de la Roca», de Jerusalén (25).

Este tema es el que quiero analizar a través de tres edificios hispánicos prerrománicos, a fin de determinar cuando es pertinente o no la deducción de que tal o cual figura se empleó como pauta, como trazado regulador, de los edificios en cuestión. Pero antes creo que es necesario examinar otro extremo que me parece del mayor interés, como es el de la sustitución operativa de los edificios.

Por razones evidentes, económicas entre otras, en Arquitectura se hace imprescindible casi siempre sustituir al edificio en proyecto o en análisis por algún objeto que represente algunas de las cualidades de la situación arquitectónica real (26). La complejidad formal de determinados edificios egipcios o mesopotámicos exigió, desde Saqqara (27) y la época de Gudea (28), sustituciones gráficas, realizadas según lo que hoy llamaríamos sistema proyectivo diédrico. Desde época muy temprana los medios materiales disponibles permitieron representaciones exactas de situaciones arquitectónicas complejas, a las que se aplicaron códigos de selección sumamente restrictivos cuando fue obligatorio el uso de materiales duros como soporte gráfico (29) y algo más elásticos cuando se usó tinta sobre pergamino o papiro (30).

Tiene interés recordar que en la Grecia clásica no conocemos sustituciones gráficas completas de edificios, ya que los términos analógicos (31) designan elementos plásticos o gráficos sectoriales casi a escala natural. En época helenística

(25) Esta insólita mezquita está bien estudiada en K. A. C. Creswell, *Compendio de arquitectura paleoislámica*, Publicaciones de la Universidad, Sevilla 1978, 36 s. Numerosos ejemplos, dudosos algunos, en M. Ecohard, *Filiation de Monuments grecs, byzantins et Islamiques. Une question de géométrie*, Geuthner, París 1977.

(26) Toda sustitución implica siempre representar sólo algunas cualidades; es decir, es necesario llegar a dos convenios: uno tratará sobre qué cualidades se recogerán y cuáles se rechazarán para ser sustituidas (código de selección) y otro dará la clave para conocer qué correspondencia existe entre las cualidades seleccionadas del edificio y las que las representan en el sustituto (código de sustitución). Aquí entraríamos de lleno en problemas de iconicidad, isomorfismo visual, etc. (Cfr. A. Jiménez, «Problemas de Sustitución en Análisis de Formas», curso de doctorado en prensa, *Cuadernos del Departamento de Teoría de la Arquitectura*, E. T. S. Arquitectura de Sevilla).

(27) G. Broadbent, *Diseño arquitectónico. Arquitectura y Ciencias humanas*, Gili, Barcelona 1976, 47 ss.

(28) J. J. Coulton, *Ancient Greek Architects at Work. Problems of Structure and Design*, Cornell U. P., Ithaca 1977, lám. 5.

(29) Así el edificio romano de época claudiana que se representó sobre mármol en planta y que se conserva en el Museo de Perugia. *Ibid.*, lám. 6.

(30) Los instrumentos antiguos y los soportes imponían severas limitaciones a la anchura mínima que se podía dar a las líneas. Creo que hasta la divulgación del papel no se consiguieron normalmente espesores menores de 0,7 mm. y sólo hace medio siglo se ha llegado al límite de acuidad de la visión humana: una décima de milímetro.

(31) J. J. Coulton, *op. cit.*, 55 ss. menciona los términos *Synphay* (memoria descriptiva por medios literarios exhaustivos), *Paradeigma* (modelos a escala natural de miembros arquitectónicos modulares) y *Anagrapheus* (plantillas o escantillones), pero nada que haga referencia a sustitutos gráficos de la totalidad. Creo que la evidente modulación y simplicidad de la arquitectura y edificación griegas los hacían innecesarios.

y romana los progresos de la geometría, la complejidad de los sistemas arquitectónicos (32) y la facilidad de comunicación, hicieron que los hallazgos prehelénicos se generalizaran y sistematizaran y se añadiera el uso restringido de la perspectiva cónica (33). La situación en época imperial creo que fue similar a la de todo el Renacimiento Europeo en lo cualitativo y sólo sería rebasada con la introducción de los fundamentos científicos de la Descriptiva por G. Monge a fines del siglo XVIII(34).

Existen numerosos ejemplos del uso de sustitutos gráficos en Oriente antes y después de Hégira (35), pero ni uno sólo en Occidente hasta el primer tercio del siglo IX (36). Creo poder afirmar que las invasiones del siglo V provocaron tal desarticulación de las comunicaciones (37), un descenso tal de las disponibilidades de instrumentos y soportes gráficos adecuados (38), un retroceso cultural tan abrumador (39) y una gran contracción del volumen y circunstancias económicas de la arquitectura, casi toda ella «de expolio», que condujeron en todo el confín europeo a una simplificación de los trazados arquitectónicos más que notable. Sólo aquellos centros conectados con Oriente o sus avanzadillas (Rávena, Milán...) se pudieron permitir el lujo de imitar los trazados que estaban de moda en la sofisticada arquitectura protobizantina. No hay más que repasar las plantas de edificios que ofrecen P. de Palol y otros autores para advertir los escasos cono-

(32) Aunque se usarán los mismos elementos de la arquitectura griega y aún más seriados y estereotipados, no cabe duda de que ya no representan, como en ésta, lo fundamental de un edificio, ya que las masas concrecionadas adquieren cada vez más el papel de protagonista principal.

(33) Este tema, tan debatido desde hace un siglo, creo que se ha decantado del «lado» romano (Cfr. E. Panofsky, *La Perspectiva como Forma Simbólica*, Tusquets, Barcelona 1973, contiene la tesis del «jeu de fuge» con argumentos tan sutiles como falaces). No sólo a causa de la mención de Vitruvio (I-I-2) y otros textos antiguos, sino la propia existencia de una perspectiva construida con un rigor casi absoluto (Casa de Livia en el Palatino) en circunstancias que implican la existencia de un sustituto previo con el trazado geométrico de una cónica central.

(34) Gaspar Monge, en 1795 (*Leçons de Géométrie descriptive*, París) publica el primer tratado sobre los sistemas proyectivos. Desde mediados del XVII comienzan los primeros atisbos presistemáticos de los futuros axonométrico y acotado; según creo fueron desarrollándose por necesidades de la burocracia española en Hispanoamérica.

(35) K. A. C. Creswell, *Early Muslim Architecture. Umayyads (A. D. 622-750)* (I-1), Clarendon Press, Oxford 1969, 109. Todos los casos están restringidos al área del imperio de Oriente.

(36) Me refiero al famoso dibujo, sobre pergamino, de Sankt Gallen. Se trata de una especie de planta llena de convenciones, impensables en época clásica: escaleras de caracol sustituidas por espirales, árboles en «alzado», arcos y puertas representados por abatimientos, muros reducidos a una sola línea sin espesor, etc. El siguiente ejemplo que conozco es un plano similar de Canterbury, ya en el siglo XII.

(37) Con las secuelas de rupturas de convenciones metrológicas (si es que alguna vez todo el Imperio de Occidente poseyó uniformidad metrológica), dificultades de transmisión de ideas y personas, etc.

(38) Creo que la clausura de vías comerciales no facilitaría precisamente la importación de papiros, ni el precio del pergamino lo pondrían al alcance de todos. Con todo esto no niego que se usaran sustitutos en obra, pero creo que se produjo un retroceso hasta los niveles de sustitución que se dieron en Grecia clásica o probablemente inferiores; tal vez lo normal fuesen los planos de montea.

(39) Son bien conocidas las dificultades que encontraron los antiguos para trazar de manera exacta y sencilla polígonos regulares, aún en tamaño reducidos; el sistema numeral clásico, no superado en el Occidente cristiano hasta la Edad Media plena, tampoco facilitaba el empleo de algoritmos eficaces para efectuar operaciones aritméticas sencillas; es corriente que aún en el siglo XV las sumas de presupuestos de obras estén *perfectamente mal* calculadas.

cimientos de métrica que poseían los maestros constructores de nuestros siglos perrománicos (40).

Hora es ya de pasar a los ejemplos. Los que analizaré son los siguientes: el Mausoleo de Las Vegas de Pueblanueva, la iglesia de Santa María de Melque, ambos en Toledo, y la ermita de San Baudel de Berlanga, en la provincia de Soria. El pretexto me lo proporciona la explicación que acompaña a un plano del segundo de los edificios indicados, en la sala correspondiente del Museo Arqueológico Nacional. Hélo aquí completo: «El estudio del plano y los alzados de la iglesia de Santa María de Melque, y su comparación con los planos de las iglesias de San Pedro de la Mata (Sonseca, Toledo) y Santa Comba de Bande (Orense), ha permitido que conozcamos datos muy interesantes sobre la técnica arquitectónica de época visigoda, en que pervive aún de modo muy importante la manera de construir romana».

«Del estudio del distinto tamaño de las tres iglesias se ha podido deducir que probablemente existía una *escuela* central de Arquitectura donde se conservaban unos planos prototipos. Según las necesidades, a este plano prototipo se le aplicaba una u otra unidad de medida, que servía como regla de escala (sic) para conseguir el plano definitivo».

«En Melque se usó el *cubitus* de cerca de 50 cms. dando lugar a la iglesia mayor de las tres; en la Mata el *palmipes* de 41 cms. y en Bande, la más pequeña, el *deunx* de 30 cms. De este modo las escalas de reducción entre Melque y la Mata era de 5/6 y entre Melque y Bande de 3/5».

«Estas unidades de medida hispánicas, aunque de relaciones entre sí iguales a las romanas, han crecido con respecto a aquéllas en un 10 % y son la base del sistema métrico usado luego por los carolingios y por la arquitectura plenamente medieval».

«Para el trazado arquitectónico las unidades de medida se distribuían sobre el plano según unas reglas definidas de composición y modulación de carácter matemático y geométrico a la vez. Primero se distribuían las unidades según una sencilla cuadrícula de base en 5 y 15. A su vez las medidas menores se dividían en un sistema de 2 x 3, lo que posibilitaba unas series proporcionales entre las distintas dimensiones del edificio. De este modo se podían construir iglesias de distintos tamaños, parecidas en su forma general pero variando sus detalles y sujetas siempre a unas mismas leyes constructivas que la tradición aseguraba eran las más válidas para la estabilidad de los edificios».

«Estas leyes se habían ido transmitiendo de *escuela en escuela*, transformándose lentamente, desde antes de la época romana y de hecho aún pervivían hasta el final de la Edad Media con la arquitectura gótica».

Imagino que este texto no es fruto de una improvisación o del simple deseo de divulgación, sino el resultado de un extenso y documentado trabajo, en el que supongo que se demostraran de manera inequívoca las afirmaciones más intere-

(40) P. de Palol, *Arqueología de la España Romana*, C.S.I.C., Madrid, 1967, figs. 4, 5, 23 y 47; H. Schlunk y Th. Hauschild, *Hispania Antiqua. Die Denkmäler der frühchristlichen und westgotischen Zeit*, Ph. Von Zabern, Main am Rhein 1978; abb. 20, 24, 65, 75, 76 a, 78, 95, 101, 102, 116 (fundación real), 125, 131 (uno de los productos de la «escuela») y 136.

santes (continuidad desde antes de la época romana hasta el gótico, pasando por lo carolingio, romanidad incrementada por lo que respecta a las unidades, documentación arqueológica de los nombres y equivalencias...) y se aportarán los datos necesarios y suficientes para demostrar estadísticamente las unidades detectadas ya que se obvian las posibles incongruencias aritméticas entre unos números que son primos entre sí («cerca» de 50 cms., 41 cms., 30 cms., bases en 2, 3 y 5, etc.) Sin embargo, existen razones externas e internas que me hacen dudar de que tales cosas puedan afirmarse sin sombra de duda.

Creo que el proceso que se ha seguido para el análisis que el texto anterior supone puede resumirse así; en unos edificios más o menos completos, con más o menos añadidos, tras las oportunas excavaciones, se han efectuado sustituciones gráficas de gran exactitud métrica. Sobre ellas se realizan pruebas para determinar un patrón métrico básico, cuya existencia se comprueba con criterios estadísticos; una vez confirmado se deduce que fue la base modular de un trazado regulador que el edificio, de manera explícita, sigue como pauta y que se manifiesta en la coincidencia de los elementos de aquél con las aristas, esquinas, caras y ejes de muros, ejes de simetría de espacios, jambas de huecos, etc. Además dicho trazado regulador se constituye mediante un proceso geométrico exacto y sencillo. Comprobada la repetición de la figura de este mismo trazado, no de su tamaño, se deduce que existía, en Toledo probablemente, un centro que surtía de sustitutos gráficos o tal vez enviaba arquitectos allí donde se lo solicitaban.

Creo que este castillo de naipes tiene tantos puntos débiles que no se sostiene. Veamos las razones de mi duda.

La primera se funda en el tipo formal de los tres edificios mencionados, ya que siguen un modelo muy sencillo, el cruciforme, que se descompone en una serie de rectángulos o cuadrados. Para un trazado tan simple no creo que se necesitara un modelo gráfico previo y menos aún recibirlo (41) de una «escuela» central de arquitectura. En segundo lugar no se debe olvidar que no es posible ampliar o reducir impunemente todo un trazado regulador (42) sin que se vean afectadas otras relaciones métricas, de naturaleza tecnológica (43); y todo ello contando con que el «trazado regulador» que se expone en el Museo Arqueológico Nacional no es tal, sino una hábil mezcla de relaciones topológicas y métricas, establecidas entre elementos no homólogos (44).

(41) Sería necesario explicar por qué razón sólo estas tres iglesias siguieron el modelo: dos muy próximas (pero usando patrones métricos incongruentes) y otra a notable distancia, con un tercer patrón. Creo que el parecido acaba en el tipo cruciforme. Cfr. las plantas que ofrece H. Schlunk y Th. Hauschild, (*op. cit.*, abb. 128 y 131) con la de M. Gómez-Moreno (*Iglesias Mozárabes. Arte español de los siglos IX a XI*. Centro de Estudios Históricos, Madrid 1919, fig. 4).

(42) Parece oportuno especificar la idea intuitiva que di en páginas anteriores sobre lo que entiendo como trazado regulador. Se trata de un esquema proyectivo (en sentido matemático estricto) de relaciones métricas, independientes por tanto del tamaño relativo de los miembros arquitectónicos y que está configurado por los órganos de simetría (Cfr. K. L. Wolf y D. Kuhn, *op. cit.*, 9; excluyo los kyrtosimétricos).

(43) Las leyes métricas que rigen las formas dentro de la óptica del sistema tecnológico no están en dependencia lineal de las medidas dadas a masas y espacios por razones formales o funcionales; es más, la tradicional separación de oficios no favorece precisamente la linealidad.

(44) En el «trazado» del porche de Melque se intenta definir sus elementos mediante tangencias a un círculo, pero unas veces se trata de caras *interiores* de muros y otras *exteriores*.

Otro tipo de razones se deriva de lo que sabemos de las condiciones sociales, particularmente culturales, de aquel momento histórico, que no favorecía precisamente la uniformidad y la seriación. Si aceptáramos la existencia, en la España visigoda, de algún tipo de centralización arquitectónica, con mayor razón aún llegaríamos a imaginar una «escuela» en el Norte de Africa, que surtió a todo el mundo cristiano de un modelo de iglesia absolutamente standard: basílica-con-ábsides-contrapuestos (45).

Creo que mis razonamientos se entenderán mejor al analizar los ejemplos. Con su habitual meticulosidad, Th. Hauschild expone el proceso de excavación (46), análisis y datación (47) de los restos de un edificio del que sólo se conserva la cripta, la huella de sus muros en el suelo y poco más, de tal manera que es posible determinar que estaba constituido por un muro exterior de planta octogonal, que encerraba otro octógono «paralelo» materializado en su momento por medio de ocho diedros murales que arroparon a otras tantas columnas. Como es un tipo bastante conocido, y cuya disposición en planta fuerza muchos datos de su alzado, llega el autor a una prudente restitución gráfica con la que estoy plenamente de acuerdo (48).

Sin embargo, los dibujos de las páginas 330 y 331 me sugieren unas consideraciones sobre el hipotético trazado regulador que muestra el dibujo 15 b. Me parece posible que el octógono exterior fuese la base de todo el trazado, e incluso que se obtuviese por intersección de dos cuadrados; también es sugerente la determinación de los ejes de las columnas y los diedros del octógono interior (49). En este punto cesa mi acuerdo con la propuesta, ya que el resto de los elementos que se determinan (anchura de los arcos y tamaño de la puerta) además de justificarse mediante proyecciones de tercer orden, pueden explicarse desde otros presupuestos (50). Pese a todo el esquema de la figura 15 b, parece convincente: en el centro se cruzan ocho líneas, lo que le da apariencia de seguridad.

Sin embargo, con sólo mirar el dibujo de la página opuesta la construcción geométrica se esfuma; los muros del edificio muestran tan fuertes modificaciones respecto al esquema teórico (51) que si el lector repite en aquél los trazados que

(45) Véanse los distintos «trabajos» de esta «escuela» cuya estadística supera con mucho el escueto trí que representa a la muestra, en N. Duval, *Les églises africaines a deux absides (2). Inventaire des monuments. Interpretation*, E. de Boccard, Paris 1973.

(46) «Das Mausoleum von Las Vegas de Pueblanueva (Prov. Toledo). Grabungen in den Jahren 1971/1974», *Madrider Mitteilungen* (19) 307 ss.

(47) *Ibid.*, 335; época de Teodosio.

(48) *Ibid.*, abb, 17.

(49) Sugerente pero ligeramente incongruente, ya que si aceptamos el trazado el octógono exterior parece lógico que se emplee el mismo para el interior, en vez de relaciones proyectivas de 2.º orden.

(50) Tiene más lógica edilicia definir *per se* el tamaño de unos huecos (en función de hojas de puertas, tamaños de dinteles, cimbras para arco, proporciones de órdenes, etc.) que hacerlo por relaciones proyectivas. El autor de la propuesta de trazado regulador parece olvidar que se trata de la planta de un edificio y no un simple dibujo, que, como todo grafismo abstracto, empieza y acaba en sí mismo. Si se olvida esto se estará analizando una proyección de un edificio como si fuera un mosaico, por ejemplo.

(51) No deja de tener gracia que la figura 15 a (la planta real) se titula «hypothetische Rekonstruktion», mientras la 15 b (la planta mejorada) recibe el nombre de «Schema der geometrischen konstruktion».

se ven en la página 15 b, el impecable centro unitario se convierte en una nube de doce puntos distintos repartidos dentro de un círculo de tres metros de diámetro (52). En mi opinión el trazado regulador del mausoleo de Las Vegas de Pueblanueva no se sostiene, y me permite sacar algunas conclusiones de interés. La primera es que, en época anterior a las Invasiones, un maestro no fue capaz de replantear, ni siquiera con exactitud, una pareja de octógonos, que pretendía hacer concéntricos; esto está en abierta contradicción con la calidad, en todos los sentidos, que mostró la arquitectura de los siglos inmediatamente anteriores. En segundo lugar esto se produjo en un edificio de notable magnitud y cierta riqueza decorativa, no pudiendo alegarse por lo tanto, escaso interés del encargo o falta de medios económicos. Por último, esta carencia de exactitud se produce dentro de un modelo formal, cuya concentración topológica, rigidez métrica y necesidad constructiva imperiosa de un trazado exacto (53) la hacían tanto más imprescindible. Este ejemplo, como dato revelador, va contra «estas leyes (que) se habían ido transmitiendo (...) desde antes de la época romana (...)». Pese a todo, este ejemplo, si a la figura 15 b se la considera como hipótesis de esquema de construcción geométrica sobre una regularización de la reconstrucción hipotética de la planta del edificio a escala muy reducida, puedo asumirlo sin inconveniente.

No ocurre lo mismo con las propuestas de Santa María de Melque (54). Sin entrar en consideraciones sobre algunos extremos contenidos en el texto y que son tan novedosos como tajantes (55), ni en algunos puntos de orden técnico algo polémicos (56), pasaré a lo más notable que son las deducciones matemático-geométricas. Respecto a las numéricas no tengo nada que objetar salvo que maravilla ver cómo el autor obtiene iseis decimales! en proporciones de arcos de iglesias sirias, mezquitas omeyas y oratorios irupestres! (57). Por otra parte las de carácter geométrico, plasmadas gráficamente, son insostenibles. En el plano 1, sobre un corte diédrico que hace coplanarios unos muy deformes arcos contenidos en un mínimo de tres planos casi paralelos, el autor traza diagonales que muestran (58) cómo *todos* los rectángulos que se pueden circunscribir están pro-

(52) Imagino que este trazado, si se hace sobre un plano a escala 1:50, en vez de 1:200 (aproximadamente) como aparece en la publicación, aumentaría la dispersión.

(53) El contrarresto de los arcos en una disposición como ésta implica la isotropía de esfuerzos, cosa que no se garantiza si el trazado geométrico no es exacto.

(54) L. Caballero Zoreda, «La forma en herradura hasta el siglo VIII y los arcos de herradura de la iglesia visigoda de Santa María de Melque», *AEspA* (50-51) 323. Renunció a publicar el análisis de la obra definitiva sobre el tema (L. Caballero Zoreda, *La iglesia y el monasterio visigodo de Santa María de Melque [Toledo]. Arqueología y arquitectura. San Pedro de la Mata [Toledo] y Santa Comba de Bande [Orense]*, E.A. E. [109] Madrid, 1980), pues no sólo arroja aún más dudas, sino que desbordaría todo el espacio disponible.

(55) V. g.: la datación en época visigoda de Santa María de Melque, el ábside «en herradura» de Bande, etc.

(56) No entiendo el uso del término «proyectiva» (p. 337); en Geometría designa específicamente un campo, a medias entre lo métrico y lo topológico, perfectamente definido. Por el contexto parece ser un neologismo personal, derivado de proyecto, considerado como diseño.

(57) Salvo los datos de Melque, los demás proceden de transcripciones literarias o gráficas recogidas en bibliografía, seleccionadas por parte del autor según conveniencia. Cfr. en p. 349 el párrafo que hace referencia a la «desaparición» de una altura de 0,15 m.

(58) También es notable el manejo que en la «escuela» se hacía de un número irracional, cuando en pleno siglo XIII realizar una simple división estaba sólo al alcance de expertos (cfr. A. C. Crombie,

porcionados respecto al número, $\sqrt{2}$. Para ello no hay inconveniente en que las proporciones «atravesen» bóvedas, no encajen con cierta exactitud visual (iseis decimales!), ni que se refieran a puntos sin relevancia perceptiva alguna, mientras *líneas* de importancia compósitiva y edilicia vitales (las potentes impostas por ejemplo) queden «fuera» de proporción. Para que esta interesante entelequia matemática se sostuviera debería demostrarse antes que la «escuela» toledana disponía de dibujantes tan buenos como los del autor, algoritmos tan eficaces y conceptos del sistema proyectivo diédrico tan afinados. Además, habría que reconocer que los constructores eran poco cuidadosos o tal vez no supieron interpretar los alambicados cálculos de la «escuela»: lo cierto es que labraron muros cuyas caras no son paralelas, arcos, bóvedas y cúpulas descentrados y deformes, rectángulos trapezoidales, alteraron simetrías, etc.

La pervivencia «hasta el final de la Edad Media» de las leyes que venían desde época romana, se vuelve a manifestar en la publicación de la ermita de San Baudel de Berlanga (59). Como es bien sabido se trata de un edificio mozárabe de época románica, construido en tierra que en aquellos momentos era frontera entre cristianos y musulmanes.

Obviaré el comentario pormenorizado de algunos datos metrológicos que deben examinarse en su contexto (60) y, ciertas afirmaciones continuistas (61) y algún *lapsus calami* (62), para centrarme en el presunto trazado regulador. Dice el autor: «(...) podemos considerar a partir de una serie de medidas (las ocho del cuadro número 2) que el valor del codo se puede estimar, aproximadamente, en 0,499 ms (...) ello permite establecer dos hechos fundamentales (... el) establecimiento de una cuadrícula (...) de $0,499 \times 0,499$ m. (y) elaboración de ritmos de repetición de accidentes (...) no sólo en planta sino también en alzado (...)» (63).

Sorprende que esto se escriba, pero no se dibuje (64); también que no se adop-

Historia de la Ciencia: de San Agustín a Galileo (2) Siglos XIII-XVII, Madrid 1959, 16 ss.). También resulta chocante que el número $\sqrt{2}$, que se obtiene gráficamente como proporción, respecto al lado, de la diagonal de cualquier cuadrado, aparezca como *valor autónomo* en Melque, ya que en el citado dibujo ninguna proporción se establece sobre cuadrados; al contemplar el arco de la izquierda, del mismo gráfico, el lector comprende que aparezcan los números irracionales, aunque sólo sea por analogía con su deficientísimo trazado.

(59) J. Zozaya, «Algunas observaciones en torno a la ermita de San Baudelio de Casillas de Berlanga», *Cuadernos de la Alhambra*, 12, 307 ss. La nota 1 (en pág. 307) es muy reveladora de la comunidad de ideas y personas que han participado en las teorías y conclusiones de Melque y Berlanga.

(60) P. 311, párrafo sobre el patrón metrológico. Creo que las conclusiones incontrovertibles de Don Félix Hernández sobre la metrología de la mezquita mayor de Córdoba (confrontando datos numéricos *documentales* con las medidas *muy grandes* a que se refieren *explícitamente* los documentos) no se puede extrapolar así como así a San Baudel y menos si no coinciden: los de Córdoba son 47,1 cm. (*mamuni*) y 58,7 (*rassasi*) mientras el de Berlanga vale 49,9 cm. (Cfr. F. Fernández-Giménez, *op. cit.*, 49).

(61) Primer párrafo de pág. 321.

(62) Por mucho que busco en el libro de Schölfield (*op. cit.*) alguna referencia a «la existencia de dos manos, una mozárabe y otra románica» (nota 17) no la encuentro.

(63) *Ibid*, 312. Afortunadamente 0,499 m. es sólo una aproximación pues de lo contrario estaríamos midiendo décimas de milímetro. Los paréntesis y su contenido son míos (A. J.).

(64) El resultado, probablemente, destruiría la hipótesis ya que la planta es «un trapecio irregular» pero cabe la posibilidad de «asumir después la hipótesis de que fuese teóricamente un rectángulo modificado en el replanteo del edificio. En realidad se hubo de asumir esto por partida doble, al tratarse, en planta de dos rectángulos adosados, hecho más notable en la realidad, al comprobarse que, por errores de replanteo, el eje de uno no era la prolongación del otro» (p. 311).

tara otra cuadrícula menor que hubiera explicado muchos más accidentes (65) y que puedan darse siete sistemas distintos para explicar un sólo rectángulo (66). Todo ello, unido a las numerosas deformaciones que el edificio presenta (perceptible a *simple vista* en él y en los sustitutos gráficos), me hacen poner en cuarentena casi toda la explicación del autor sobre el no dibujado trazado regulador de la ermita, cuyas formas son bastante más sencillas que la explicación que se les busca.

El análisis de los ejemplos propuestos creo que hace una llamada a la prudencia a la hora de publicar presuntos estudios métricos y metroológicos. No niego que en determinadas épocas haya existido un interés por construir objetos arquitectónicos usando como guía para diseño y replanteo determinadas relaciones métricas, pero para demostrarlo *sólo a partir del examen del propio objeto* han de cumplirse condiciones muy precisas (67) que no se dan en los siglos que van desde Teodosio al Cid y menos en los tres edificios analizados.

No hay que postular la existencia en *Hispania*, de «escuelas» más o menos centrales y cabe sospechar que usaban poco trazado regulador y menos aparato aritmético; la simple transmisión de tajo en tajo de operarios y experiencias explica por sí sola la repetición, con variaciones, de ciertos tipos muy sencillos. Cuando se atrevían con formas ligeramente más complejas cometían gruesos errores y jamás se molestaron en copiar, ni siquiera simplificada, las disposiciones realmente alambicadas que se producían en Oriente.

(65) Si el «codo» es un «intermedio» entre los que dedujo Don Félix, pudo tomarse un submúltiplo de la misma serie, que por puro azar explicaría todo el edificio. Lo del alzado no se sostiene, cfr. lo dicho respecto al corte de Melque.

(66) *Ibid.*, 3,6.

(67) Aunque ya se han ido sacando a colación a lo largo de las páginas anteriores las resumiré:

1. Han de basarse en un análisis estadístico pertinente.
2. Se referirán a esquemas muy claros, cuya percepción esté garantizada en el propio edificio.
3. Han de tenerse en cuenta las condiciones históricas objetivas que afecten al uso de sustitutos gráficos y cálculos numéricos.
4. Un sustituto gráfico actual es una convención muy abstracta en todos los sentidos; su análisis no es necesariamente válido para el edificio sustituido.
5. Preferiblemente se referirán a configuraciones con centro de simetría y se explicarán como resultado de un proceso en el que todos los sucesivos estados tendrán correlato físico en los miembros arquitectónicos.
6. Tiene más posibilidades de autenticidad el trazado regular que tenga en cuenta la lógica edilicia y más aún si es útil como replanteo en obra.

Depósito legal. M. (Sep.) 25.424.—1982

RAYCAR, S. A. Matilde Hernández, 27. Madrid-19