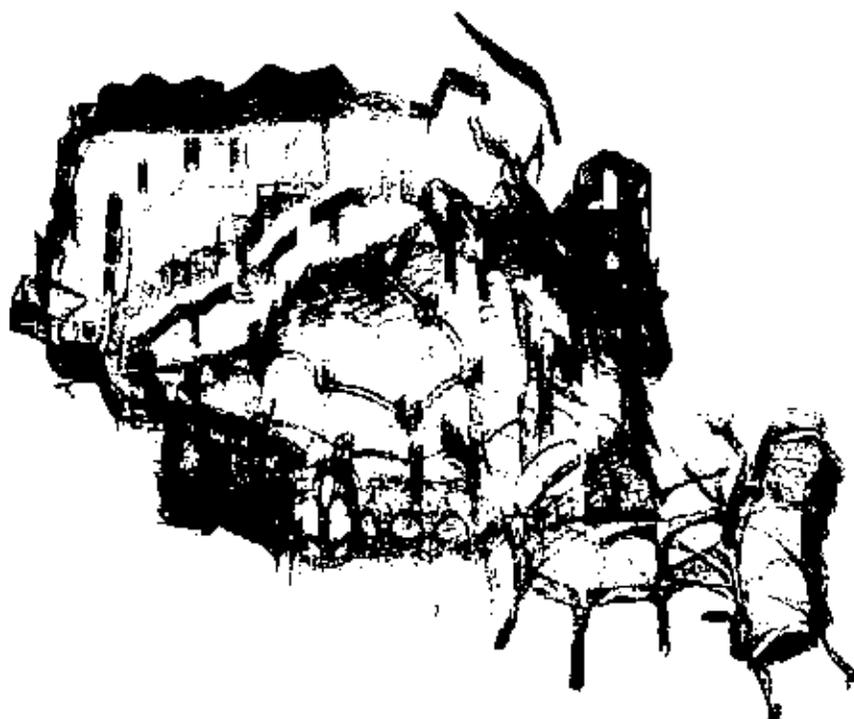

El levantamiento para la restauración: no hay método sin herramientas

Pablo Latorre y Leandro Cámara*



1. Perspectiva axonométrica del modelo tridimensional de la iglesia de la Colonia Güell. Latorre y Cámara, arquitectos. Servicio del Patrimonio Arquitectónico Local de la Diputación de Barcelona

Palabras clave: levantamiento, restauración, dibujo, metodología, fotogrametría, representación

Este artículo analiza de manera rigurosa el ámbito del levantamiento arquitectónico necesario para la restauración, distinguiéndolo de otras nociones como el dibujo idealizado de la arquitectura y relacionándolo con el mundo de la enseñanza. Asimismo, brinda un panorama de la metodología, las técnicas, las herramientas, los criterios y el nivel de detalle necesario en esta disciplina, desde el levantamiento analógico hasta el levantamiento analítico, pasando por el modelo tridimensional fotogramétrico, además de citar la elaboración de fotoplanos y el escaneado tridimensional. La aspiración final de este proceso previo a la restauración equivale a una representación del tiempo que refleje los procesos de transformación complejos que han conferido la geometría alterada, deformada y, a la postre, real a los edificios.

*Pablo Latorre y Leandro Cámara son arquitectos.

Keywords: survey, restoration, drawing, methodology, photogrametry, representation

Survey for restoration: there is no method without tools. This article is a rigorous analysis of the architectural maps required for restoration, distinguishing them from other notions such as the idealised drawing of architecture and relating them to the world of teaching. Furthermore, it offers an overview of the methodology, techniques, tools, criteria and level of detail necessary in this discipline, from analogical to analytical survey, not forgetting the three-dimensional photogrammetric model and the creation of photoplans and three-dimensional scanning. The final aspiration of this process prior to restoration is a representation of time that reflects the complex transformation processes that have brought about the deformed albeit real altered geometry of buildings.

El dibujo de arquitectura es la representación gráfica de una ficción, de una geometría y una construcción inexistente, únicamente imaginada por el arquitecto para ocupar el espacio vacío. El dibujo es, por tanto, la herramienta y el medio de expresión y comunicación fundamental del arquitecto, sólo sujeta a los mecanismos subjetivos propios del proceso creativo, lo que le confiere un valor propio que la convierte en una manifestación de carácter artístico¹.

El dibujo de arquitectura tiene, durante el desarrollo del trabajo del arquitecto, diferentes cometidos o utilidades. A través de los croquis, el arquitecto utiliza en las primeras fases de su trabajo el dibujo más personal, expresivo e inmediato, generalmente a mano alzada y sin una escala definida, para imaginar y diseñar el proyecto de arquitectura. La representación más elaborada y probablemente con una intencionalidad más "artística" o comercial del proyecto es la que se realiza para transmitir su forma, su configuración y las características más significativas de su diseño a los promotores o a los futuros usuarios para convencerles de su viabilidad e idoneidad. Finalmente, las representaciones más técnicas, detalladas y precisas son las que se realizan para definir su construcción y sirven para su ejecución.

La construcción de la arquitectura exige del diseñador el esfuerzo de someter esa geometría ficticia a las leyes de la estática y de la ciencia de la construcción, y su trazado a las leyes de la geometría euclidiana y de las matemáticas. En este momento, el dibujo se convierte en una herramienta más del proceso de la construcción y debe ejecutarse siguiendo un código gráfico y de representación previamente pactado y normalizado. Son estas representaciones "técnicas" de la arquitectura las que permiten su comprensión por todos los agentes implicados en su producción y construcción, sirviendo también de herramienta para prever su coste y planificar su ejecución.

A diferencia de la arquitectura imaginada, la forma de una arquitectura histórica responde a procesos de transformación complejos, consecuencia de los dilatados periodos de tiempo en los que se han producido que le confieren una geometría alterada y deformada². La forma y la geometría definida en el trazado de un proyecto se modifica durante su ejecución por los errores introducidos en el propio proceso de su construcción y las deformaciones que sufrirá en su proceso de puesta en carga. Pero, además, ésta continuará alterándose a lo largo del tiempo en su interacción con el entorno en el que se sitúa y la sociedad que la utiliza. Los materiales, desde el mismo momento de su colocación, iniciarán un proceso de

erosión y degradación con pérdida de masa y forma que afectará también a la cohesión y configuración de los elementos constructivos que componen y a la estabilidad global de la estructura que seguirá deformándose. Cualquier alteración del equilibrio del entorno en el que se sitúa, podrá afectar también a su estabilidad, así como los desastres naturales o conflictos bélicos. Finalmente, el funcionamiento habitual del edificio impondrá continuas transformaciones de su estructura y de su construcción.

Como consecuencia de este proceso de transformación, en una arquitectura histórica se puede distinguir entre la forma teórica definida en su proyecto y la forma real que adquiere a lo largo del tiempo. Estos dos modos de entender la realidad construida nos obligan a plantearnos cuál debe ser el objetivo y el alcance de un levantamiento: ¿Debemos representar el trazado, las proporciones y la geometría original o representar, con la mayor precisión posible y con el máximo detalle, la métrica y la geometría deformada y erosionada del monumento? En definitiva, ¿debemos representar la forma real de la arquitectura alterada por el paso del tiempo o, por el contrario, borrar de la representación estas huellas y dibujar la forma teórica del monumento, como si estuviésemos dibujando su proyecto?

La disciplina del levantamiento arquitectónico nace en el Renacimiento asociada al interés que despierta el estudio de la arquitectura romana. Sin embargo, su verdadero desarrollo se produce a lo largo de los siglos XVIII y XIX³ en los que se aborda el estudio y clasificación de la arquitectura histórica. En este periodo, el levantamiento arquitectónico tuvo una función taxonómica, similar a la que tuvo el dibujo entre los naturalistas de la misma época, que centraron sus esfuerzos en realizar una clasificación completa de los seres vivos y utilizaron el dibujo como la herramienta descriptiva fundamental de su trabajo científico⁴ (fig. 2).

Los arquitectos e historiadores del arte, con un objetivo similar al de los naturalistas, trataron también de establecer una clasificación completa de la arquitectura histórica que ordenase en el tiempo y agrupase por tipologías toda la arquitectura conservada. Para realizar esta clasificación era necesario definir las características tipológicas de los diferentes estilos reconocidos, dibujando los monumentos más importantes y significativos de cada uno de ellos. Además, la arquitectura del nuevo clasicismo en el siglo XVIII y la arquitectura de los estilos neo-medievalistas en el XIX tienen en el trabajo de estudio y levantamiento de la arquitectura histórica su mejor fuente de inspiración. La arquitectura

busca durante estos periodos su renovación en las grandes arquitecturas de la antigüedad clásica o medieval, por lo que se lanza a su encuentro directo para medir las y dibujarlas, tanto en el estado de ruina en la que aparecen, como para restituir las a su estado original⁵.

Es imprescindible apuntar los nombres, entre otros muchos, de G. B. Piranesi (1720-1789), F. Mazois (1783-1826), P. M. Letarouilly (1795-1855), L. Canina (1795-1856) (fig. 3)⁶, G. Valadier (1762-1839), Viollet Le Duc (1814-1879) (Midant 2001), A. Choisy (1841-1909), de los pensionados franceses de la École des Beaux-Arts, etc. a los que hay que sumar el trabajo de otros cientos de dibujantes, ilustradores paisajistas y arquitectos que en este periodo realizan innumerables imágenes y levantamientos de la arquitectura histórica europea y, coincidiendo con los periodos de expansión colonialista, también de la arquitectura de las grandes civilizaciones de Asia y África.

Es lógico que este esfuerzo por dibujar la arquitectura histórica conocida provocase discusiones sobre la metodología, los objetivos y el alcance de los levantamientos gráficos y que éstos fuesen transformándose con el avance y desarrollo técnico de los instrumentos de medición⁷. A este respecto, es importante reseñar la polémica que en su momento suscitó el trabajo del francés P. Letarouilly, al que se acusó de inexactitud y de haber regularizado con espíritu académico sus dibujos, acusaciones de las que éste se defendía afirmando que el levantamiento era una operación crítica que debía representar la imagen proyectada del edificio por el arquitecto y no la imagen deformada que ésta presentaba en la realidad⁸.

LA ENSEÑANZA DEL DIBUJO Y DEL LEVANTAMIENTO DE ARQUITECTURA

El dibujo que normalmente se exige y se demanda a los alumnos de las escuelas de arquitectura en las asignaturas de proyectos es el mismo que se utiliza habitualmente en las presentaciones de los concursos de arquitectura: muy rico en recursos gráficos y formales. La valoración de estas presentaciones se establece por la estética y por el impacto visual que provocan, así como por su capacidad para comunicar la "idea" que ha servido para la generación de ese proyecto. Lamentablemente, estas brillantes ilustraciones de "arquitecturas en ciernes", con formas y geometrías complejas carecen, la mayoría de las veces, del rigor técnico que sería deseable en una escuela que se auto-califica como tal. Casi todos hemos padecido la disociación que existe entre las asignaturas de Construcción y Estructuras y las de Proyecto, que no

hacen más que confirmar la crisis de la profesión - tal y como la entendemos actualmente- y su separación, como sucede en muchos países europeos, en dos especialidades: la primera, de carácter más artístico y comercial y la segunda, más técnica. Parece como si la ciencia de la construcción no formase intrínsecamente parte de la arquitectura y que ésta pudiese imaginarse desligada de la primera, atendiendo exclusivamente a los intereses simbólicos, iconológicos, formales y económicos de los promotores.

En este contexto, no es difícil comprender por qué el levantamiento de arquitectura, su metodología y las técnicas que es preciso conocer y dominar para su ejecución no forman parte de las enseñanzas de una escuela de arquitectura y por qué los alumnos que llegan a los master de restauración carecen de la formación necesaria para afrontar la ejecución de un buen trabajo de levantamiento. Los únicos conocimientos a este respecto se limitan a un manejo muy básico de la triangulación con cinta métrica aprendidos en las asignaturas de dibujo de los primeros cursos de la carrera, en las que el levantamiento se entiende como el dibujo de un proyecto de arquitectura ya construido. Evidentemente, un par de horas o a lo sumo una tarde de las que se dedica a este tema en un master de especialización apenas permiten élar para un apunte sobre las técnicas y la metodología de un levantamiento de arquitectura y de las aplicaciones que este trabajo tiene en el campo de la restauración. Nuestra sensación es que estas explicaciones acaban "abrumando" al alumno que se siente incapaz de ponerlas en práctica, y en definitiva, incapaz de asimilarlas.

Este problema necesariamente conduce a que la mayoría de los levantamientos con los que se restauran nuestros monumentos son eminentemente "arquitectónicos", limitándose generalmente a representar una geometría ortogonal e idealizada, con una métrica obtenida de una medición con cinta de los puntos accesibles y en la que los aparejos y otros elementos que componen los alzados no se representan o se dibujan con una trama. Sólo recientemente, y en algunas asignaturas optativas del segundo ciclo, se ha ofertado la especialización en restauración entre las que, como en la Escuela de Granada, el levantamiento arquitectónico aparece como asignatura cuatrimestral, con un programa en el que la metodología, las técnicas y las herramientas necesarias para realizar un levantamiento, están completamente actualizadas⁹.

Desgraciadamente, no se ha valorado suficientemente la capacidad didáctica que tiene realizar el levantamiento de una arquitectura preexistente antes de empezar a dibujar el proyecto de una arquitectura propia. El levantamiento supone, de

algún modo, un proceso similar al de proyecto, cuyo resultado es la representación de la arquitectura, bien sea real o imaginada. Sin embargo, a diferencia del trabajo de proyecto, un levantamiento obliga a la persona que lo realiza a experimentar la arquitectura, a vivirla y recorrerla, a reconocer y observar todos sus detalles, y finalmente a medirlos y representarlos, forzándole a relacionar constantemente la realidad con su dibujo a escala en el plano. Es muy importante para un estudiante dibujar los elementos constructivos que componen la arquitectura de un edificio y estudiar su configuración, definiendo su aparejo e imaginando cómo se despiezan los materiales que lo conforman. El levantamiento arquitectónico es una reflexión sobre la realidad construida que proporciona las herramientas y la capacidad para poder intervenir sobre ella o para poder diseñar e imaginar otras arquitecturas¹⁰.

METODOLOGÍA, TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DEL LEVANTAMIENTO GRÁFICO DE ARQUITECTURA

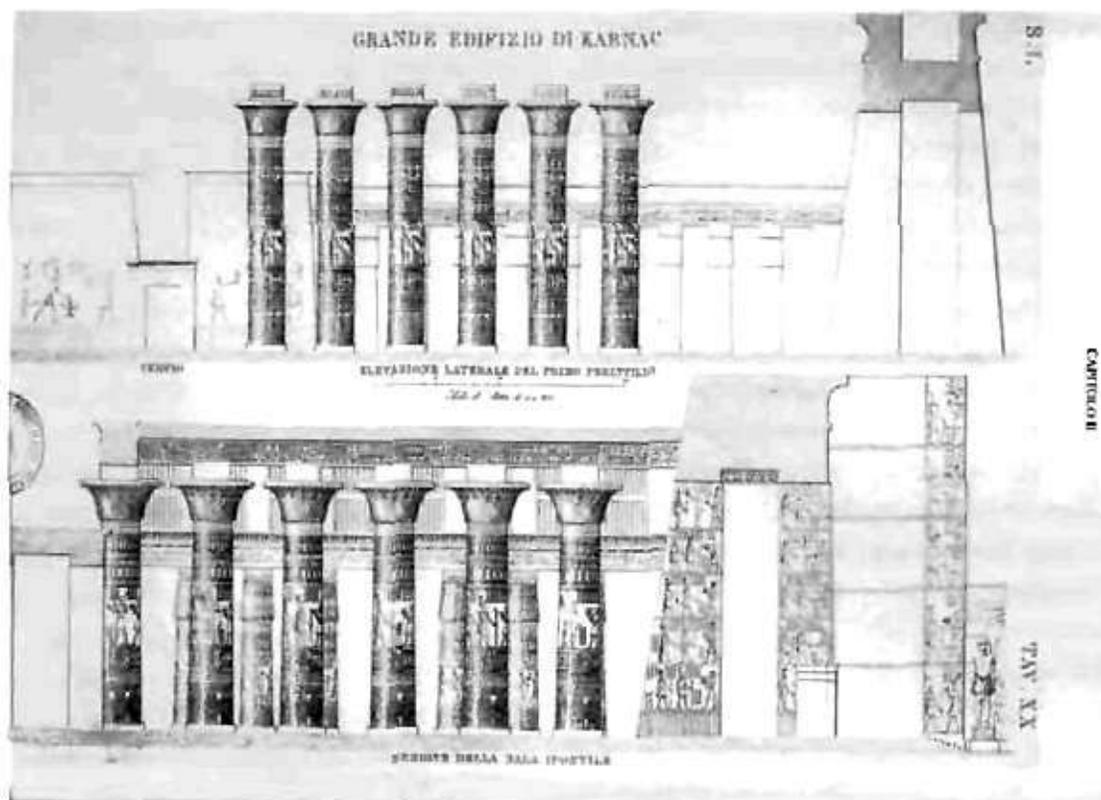
El levantamiento analógico

No olvidaré el impacto que me causó, cuando vi por primera vez, los dibujos originales del levantamiento de la iglesia de Santa María de Melque, realizados durante la excavación arqueológica de su yacimiento¹¹ (fig. 4). Los arqueólogos y sus dibujantes habían trasladado la metodología del dibujo de campo de la excavación a los alzados de la arquitectura, a la que se superponía también una malla cuadriculada de cables y elásticos, generalmente de 1x1 m. A partir de una serie de medidas de cinta referenciadas sobre la trama, iban dibujando a lápiz -directamente a escala 1:25 o 1:20 sobre un papel milimetrado- todo el detalle del alzado del monumento en cada uno de los cuadrados de la trama. Los materiales que lo componían constructivamente se habían dibujado con su forma y sus dimensiones y se habían individualizado al representar totalmente el contorno de su junta, lo mismo que cada uno de los revocos, de las marcas, relieves, fisuras, grafitos, erosiones, fracturas, etc. que caracterizaban la geometría de su superficie. El color y las tramas se usaban como códigos para diferenciar elementos, tipos de materiales, etc. y, además, los dibujos estaban llenos de anotaciones, que eran observaciones del propio dibujante o del investigador.

No eran los dibujos de levantamiento que estábamos acostumbrados a ver, realizados con escuadra y cartabón a partir de una simple medición con cinta: estaban realizados a mano alzada directamente en el propio edificio, lo que exigía de los di-

2 Distintas especies de caracoles del género Murex. E. Haeckel (1834-1919) zoólogo, (Haeckel 2004: Lámina 53)





3. Alzado lateral del primer peristilo y sección transversal de la sala hipóstil del gran templo de Amón en Karnac, L. Canina (1795-1856), (Canina 2000: 32)

bujantes una gran meticulosidad y pericia gráfica y les proporcionaba un valor documental y artístico importante. Cada cuadrado de la superficie de los muros se dibujaba con el mismo rigor, detalle y cuidado con el que se dibujaba la excavación. Su concepción y los criterios de representación utilizados, hacía que sus resultados se aproximaran más al trabajo cartográfico que al habitual de un levantamiento arquitectónico, al asimilarse las superficies de los alzados a los de un territorio. Siguiendo este criterio el levantamiento era completo, se dibujaban todos los alzados y secciones posibles y todos los cortes de planta existentes, lo que permitía la representación de toda la superficie visible de los alzados del edificio.

Pero, al mismo tiempo, eran unos dibujos técnicos, su precisión quedaba determinada por la superposición sobre la superficie del monumento de una trama que evita la acumulación de errores durante la medición. Con esta técnica, la precisión del dibujante en la representación a escala sobre el papel milimetrado de la superficie de cada cuadrado, no repercute en la medición global y queda restringida al cuadrado de la malla que se está representando. La precisión general del trabajo queda únicamente supeditada a la precisión de la malla, mucho más sencilla de obtener y, sobre todo, de garantizar su exactitud. La utilización de un sistema de referencia permite además superponer los puntos comunes de

esta trama en cada uno de los planos que componen el levantamiento, lo que permite relacionarlos métricamente en el espacio.

Sin embargo, a pesar del nivel de detalle y de precisión obtenidos con este sistema, no era posible en la práctica generalizar su uso como método de levantamiento para la redacción de un proyecto de restauración. Para su ejecución es necesario superponer una cuadrícula de clásicos sobre las superficies que se vayan a dibujar del monumento, lo que exige andamiarlas para permitir el trabajo "in situ", además de prever amplios periodos de tiempo para su ejecución. Estas condiciones implican un coste elevado de los medios auxiliares y unos plazos difícilmente justificables en los procesos de estudios previos de los grandes monumentos e imposibles de abordar con los presupuestos habituales de un levantamiento de arquitectura, si no se asocian con el desarrollo de las obras de restauración¹².

De hecho, esta metodología no se ha aplicado casi nunca a un levantamiento para la restauración y ha estado habitualmente asociada al trabajo de excavación de monumentos e iglesias de pequeñas dimensiones, con un alto valor histórico y arqueológico¹³. Como ya hemos comentado, fueron los arqueólogos los que, al comprobar que existía una continuidad física y temporal entre los restos excavados y los emergentes, se decidie-

ron a documentar el monumento con la misma metodología con la que documentaban los perfiles y los alzados de las ruinas descubiertas¹⁴. Además, los mismos equipos que se encargaban de dibujar las excavaciones realizaban estos levantamientos durante las propias campañas de excavación.

Sin embargo, una experiencia tan sugerente, no podía haber sido a la vez más frustrante, pues nos hizo comprender tanto la necesidad de trabajar con planos detallados y precisos y, a la vez, la inutilidad de abordar el levantamiento, hasta de una pequeña iglesia románica, sin las herramientas y la metodología adecuada. Éramos conscientes de que era imposible realizar un levantamiento de cierta calidad con el simple apoyo de una cinta métrica, ya que es imposible controlar el error introducido que se acumula de una medición a otra. Además, los problemas de medición de las alturas, de los desplomes de los elementos verticales, de las deformaciones de arcos y bóvedas y del dibujo del aparejo de los materiales, son simplemente irresolubles.

En la actualidad, la generalización de los distanciómetros láser y la facilidad para conseguir correcciones métricas de fotografías digitales permite solucionar con facilidad la medida de las alturas y el dibujo de los aparejos. Sin embargo, es necesario advertir que estas herramientas tampoco pueden garantizar una precisión adecuada de la medición, ya que no sirven para definir un sistema de referencia de precisión al que referir todo el trabajo, que sólo puede establecerse topográficamente.

El levantamiento analítico

En este proceso de perfeccionamiento de las técnicas disponibles para realizar un levantamiento es inevitable enfrentarse por primera vez al trabajo topográfico, imprescindible además para el conocimiento de la fotogrametría¹⁵. La topografía permite definir las coordenadas de puntos en el espacio, a partir de cálculos trigonométricos de medidas de ángulos y distancias obtenidos desde estaciones de referencia. La introducción de la técnica topográfica en el proceso del levantamiento es, sin lugar a dudas, el "salto metodológico" más difícil de dar desde el campo de la arquitectura, ya que obliga a superponer al trabajo tradicional de medición y representación analógico, un sistema analítico de referencia y a introducir, en el proceso de toma de datos, la medida de ángulos. En definitiva, la topografía nos obliga a abandonar la geometría clásica euclidiana -cuya forma de trabajo habitual es el dibujo- por una geometría analítica de base numérica y matemática.

Esta condición matemática de la topografía es la que permite introducir valores de precisión y error en el levantamiento, mediante el establecimiento de una malla de referencia de poligonales cerradas, con un error definido y controlado. Evidentemente, la topografía no es una herramienta de dibujo y su objetivo se limita a situar con precisión cuantificable una serie de puntos significativos de la arquitectura del edificio, entre los que se encajará el resto del levantamiento. Esta incapacidad para el dibujo de la topografía, hace de la fotogrametría una técnica indispensable y complementaria en el trabajo de levantamiento analítico.

La fotogrametría¹⁶ es un sistema de medición que permite obtener la situación y las dimensiones de un objeto en el espacio a partir de dos o a más proyecciones cónicas del mismo. La fotogrametría se apoya en los mismos principios que los sistemas topográficos, desarrollando un proceso inverso al de la perspectiva. Sus fundamentos se conocen en paralelo a los de ésta, pero su desarrollo y su aplicación extensiva como técnica de medición y representación, no se produce hasta la aparición de la fotografía, al sustituir las perspectivas por imágenes fotográficas.

Los primeros equipos de fotogrametría, con una tecnología de óptica y mecánica de alta precisión, tenían su capacidad analítica y tridimensional completamente limitada por su sistema de registro, que necesariamente tenía que realizarse a través de una representación analógica en dos dimensiones sobre el papel. Además, su tecnología los convertía en unos equipos extremadamente costosos que sólo podían utilizar en restauración determinadas instituciones. Ha sido la informatización de la fotogrametría y el registro sobre los programas de CAD el que ha permitido conservar todas las potencialidades analíticas y tridimensionales de la teoría fotogramétrica, abaratando notablemente los costes de estos equipos. Sin embargo, ha sido el registro de la información fotogramétrica sobre los programas de CAD el que ha permitido que la información analítica obtenida de la topografía y la fotogrametría -sin perder ninguna de sus potencialidades 3D- puedan convertirse en imágenes gráficas bidimensionales en la pantalla, de las que puede obtenerse su trazado en el papel. Los equipos de restitución de fotogrametría estereoscópica utilizan simultáneamente los principios de la estereoscopia y de la fotogrametría para permitir al operador dibujar de forma continua en tres dimensiones, a partir de una ilusión óptica tridimensional del objeto que puede calcar¹⁷. En realidad, estos aparatos funcionan como una auténtica tableta digitalizadora en tres dimensiones, en la que el operador dibuja sobre

el programa de CAD, calcando directamente de la imagen virtual tridimensional. Este sistema obliga a realizar siempre un dibujo con líneas continuas de trazo poligonal (3Dpol) en las que no existen curvas puras, lo que impone importantes limitaciones gráficas con respecto a un dibujo a mano alzada¹⁸. En este punto, es inevitable destacar el trabajo -muchas veces anónimo- de los operadores de fotogrametría, cuyo habilidad manual al dibujar resulta fundamental en el resultado gráfico final de los trabajos de fotogrametría¹⁹ (fig. 5).

El modelo tridimensional fotogramétrica

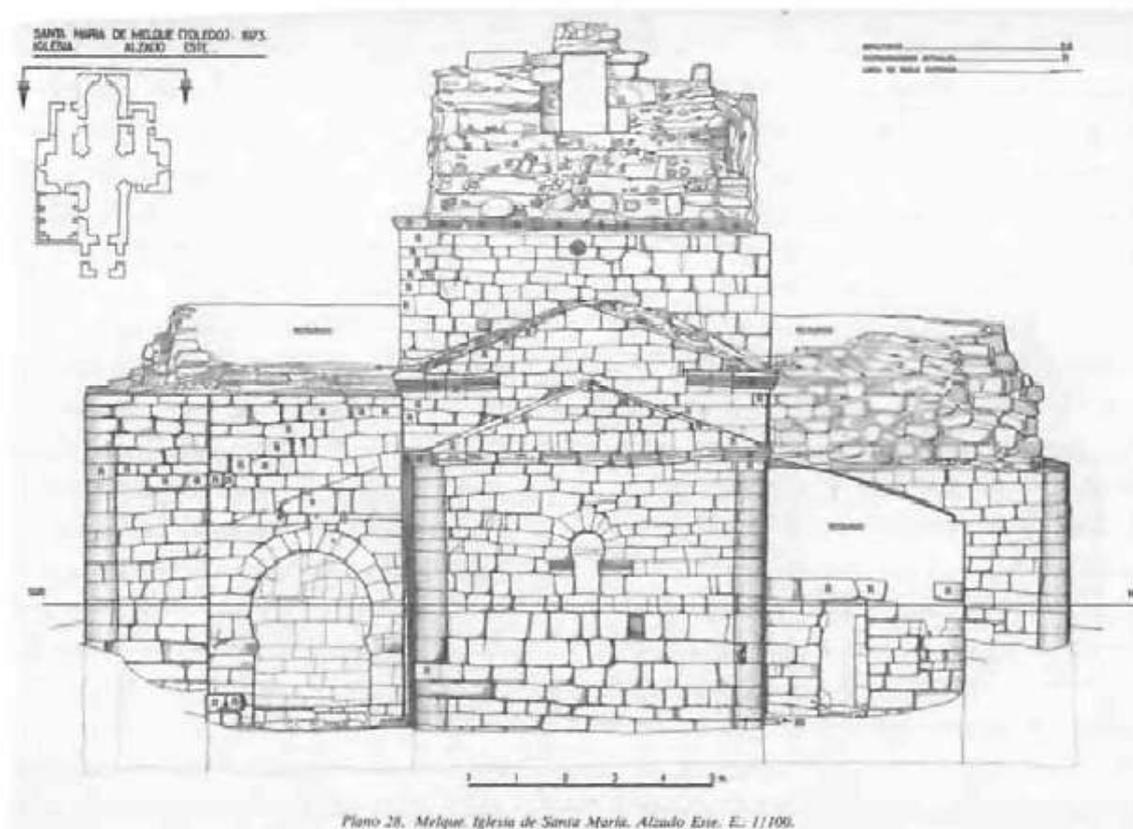
Aprendimos la técnica fotogramétrica, su metodología de trabajo y la praxis de los equipos, durante nuestra colaboración con Antonio Almagro en la restauración de la iglesia de Santa Lucía del Trampal en Cáceres²⁰. Los resultados de la fotogrametría analítica, que Almagro aplicaba por primera vez en esta pequeña iglesia, le permitían situar en un solo archivo de dibujo, el resultado de toda la restitución realizada de cada alzado. Al utilizar en el trabajo topográfico un sistema de coordenadas único, cada uno de los alzados restituidos se situaban en su posición exacta en el espacio del CAD, construyendo una maqueta tridimensional y analítica del edificio que él utilizó para realizar unas perspectivas de la propuesta de la restauración (fig. 6).

El resultado obtenido era sorprendente, ya que permitía introducir en el ordenador una base de datos de coordenadas (x,y,z) de miles de puntos del edificio unidos mediante líneas 3D en el espacio del CAD, que representaban las aristas de su geometría o de la decoración y los contornos de los materiales, fisuras, erosiones, etc. El concepto de escala desaparecía del modelo ya que, en el espacio analítico e "infinito" del CAD, la representación de la arquitectura podía realizarse con toda la precisión y con todo el nivel de detalle con el que se fuese capaz de introducir la información. Lo verdaderamente innovador de estos modelos es que constituyen una maqueta analítica de la realidad, de la que se pueden realizar -directamente de la imagen gráfica en la pantalla- consultas métricas con valor numérico. Además, podemos obtener desde el CAD múltiples vistas de este modelo en cualquiera de los sistemas de representación conocidos, lo que permite conseguir tanto los tradicionales dibujos de alzados en el sistema diédrico, como múltiples perspectivas axonométricas y cónicas desde cualquier punto de vista. Sin embargo, el trabajo y la manipulación de estos modelos de alambre, al estar realizados en base a líneas 3D, presentan varios problemas que era preciso resolver. El tamaño que

tienen en términos de memoria informática hace que sean inmanejables -sobre todo hace más de diez años- lo que obliga a su descomposición en múltiples archivos para facilitar su manipulación. Además, estos modelos de líneas son completamente transparentes lo que los convierte, en las perspectivas completas del modelo, en un amasijo de líneas incomprensible que se entrecruzan en el espacio y hace que su manipulación y explotación sea compleja. Estos problemas, unidos a la tradición de presentar los levantamientos en plantas, alzados y secciones en 2d, provocó que los modelos de alambre se convirtiesen, muchas veces, en una curiosidad o en un subproducto del trabajo fotogramétrico que siguió produciendo alzados espectaculares de los monumentos.

A pesar de estas dificultades, no quisimos renunciar a las posibilidades que como base de datos métrica intuimos podían tener estos modelos de alambre tridimensionales en el trabajo de restauración y -por este motivo- centramos, nuestro trabajo de investigación en el campo de la fotogrametría en su obtención, manipulación y explotación²¹ (fig. 1). Con este objetivo, optamos por acometer los levantamientos a través de una producción masiva de fotogrametría, que se extiende generalmente a toda la superficie visible del monumento, lo que multiplica y complica la toma de datos y exige la utilización de medios auxiliares de elevación. Para resolver los problemas de manipulación y visualización, separamos los modelos restituidos en archivos de dibujo por elementos constructivos, descomponiendo cada uno de ellos en capas, de acuerdo a valores de orientación geográfica y tipos de líneas.

Para facilitar este trabajo, diseñamos una serie de rutinas informáticas que permiten a los restituidores situar cada línea que dibujan en la capa y en el archivo correspondiente o corregir esta designación cuando detectan un error²². Tuvimos que desarrollar gestores gráficos y alfanuméricos para localizar y manipular la totalidad de los archivos y capas creados en la descomposición del monumento, para que nos facilitasen la localización y selección de los que eran visibles en un alzado o en una perspectiva concreta. También hemos desarrollado órdenes específicos para que se puedan restituir los perfiles de corte del modelo por un plano predefinido y ejecutar la generación de superficies, a partir de los contornos y los perfiles restituidos. Finalmente, desarrollamos órdenes específicos de proyección que nos permitiesen extraer del modelo 3D vistas específicas en 2D, sobre un plano concreto predefinido, necesarias para dibujar los resultados del trabajo de investigación o del proyecto de restauración (fig. 7 y 8).



Plano 28. Melque. Iglesia de Santa María. Alzado Este. E.: 1/1100.

4. Alzado Este de la iglesia de Santa María de Melque, Toledo, dibujo de J.I. Latorre Macarrón. (Caballero 1980: Plano 28)

El levantamiento: un difícil equilibrio entre los sistemas analógico y analítico

Probablemente, la barrera que existe entre las dos metodologías del trabajo de levantamiento (la analítica y la analógica) sea la más difícil de atravesar en la práctica. Tan difícil es para un arquitecto entender que debe obtener las coordenadas (x, y, z) de los puntos más significativos del edificio referenciadas a un único sistema de ejes cartesianos, como para un topógrafo decidir cuáles son los puntos - entre los miles posibles - que definen la geometría de un edificio. Además, existe una barrera escolástica e instrumental que exige a los arquitectos aprender los principios trigonométricos de la topografía y la fotogrametría y el uso de los equipos necesarios (teodolito, restituidor, etc.), y a los topógrafos estudiar y comprender la arquitectura y su representación. Son la topografía y la fotogrametría las que dotan al levantamiento de su precisión; pero sólo el dibujo, su práctica y uso habitual permiten realizar unas representaciones correctas y detalladas de la arquitectura y de la arqueología.

Hemos podido comprobar cómo los equipos de topógrafos que se especializan en realizar levantamientos de arquitectura y arqueología tratan de evitar el dibujo minusvalorando su utilidad,

intentando obviarlo con otro tipo de representaciones o explorando sistemas "automáticos" de restitución y dibujo. Ni una sucesión de fotoplanos, ni un escaneado láser 3d, puede reproducir el proceso de selección gráfica y análisis que realiza un dibujante especializado de arquitectura. Evidentemente, no se trata de minimizar la importancia y las aplicaciones de estas técnicas que recientemente han invadido el mundo del levantamiento gráfico, pero estamos convencidos que ninguna puede todavía sustituir al dibujo como herramienta de documentación y representación de la arquitectura.

Un fotoplano se obtiene de una o varias fotografías digitales de una superficie que se han rectificado métricamente - corrigiendo sus deformaciones ópticas - y que se han unido a una misma escala. La imagen resultante de la composición constituye un plano fotográfico que posee valores métricos aceptables y puede sustituir el dibujo de las superficies de la arquitectura, con el consiguiente ahorro de tiempo de restitución. Frente a la síntesis que implica el dibujo de línea de la fotogrametría, estas imágenes incorporan al levantamiento valores tan importantes como la textura, el color y las sombras que facilitan en el gabinete el reconocimiento de formas, materiales y también, de todo tipo de patologías (erosiones, fisuras, fracturas, vegetación, etc).

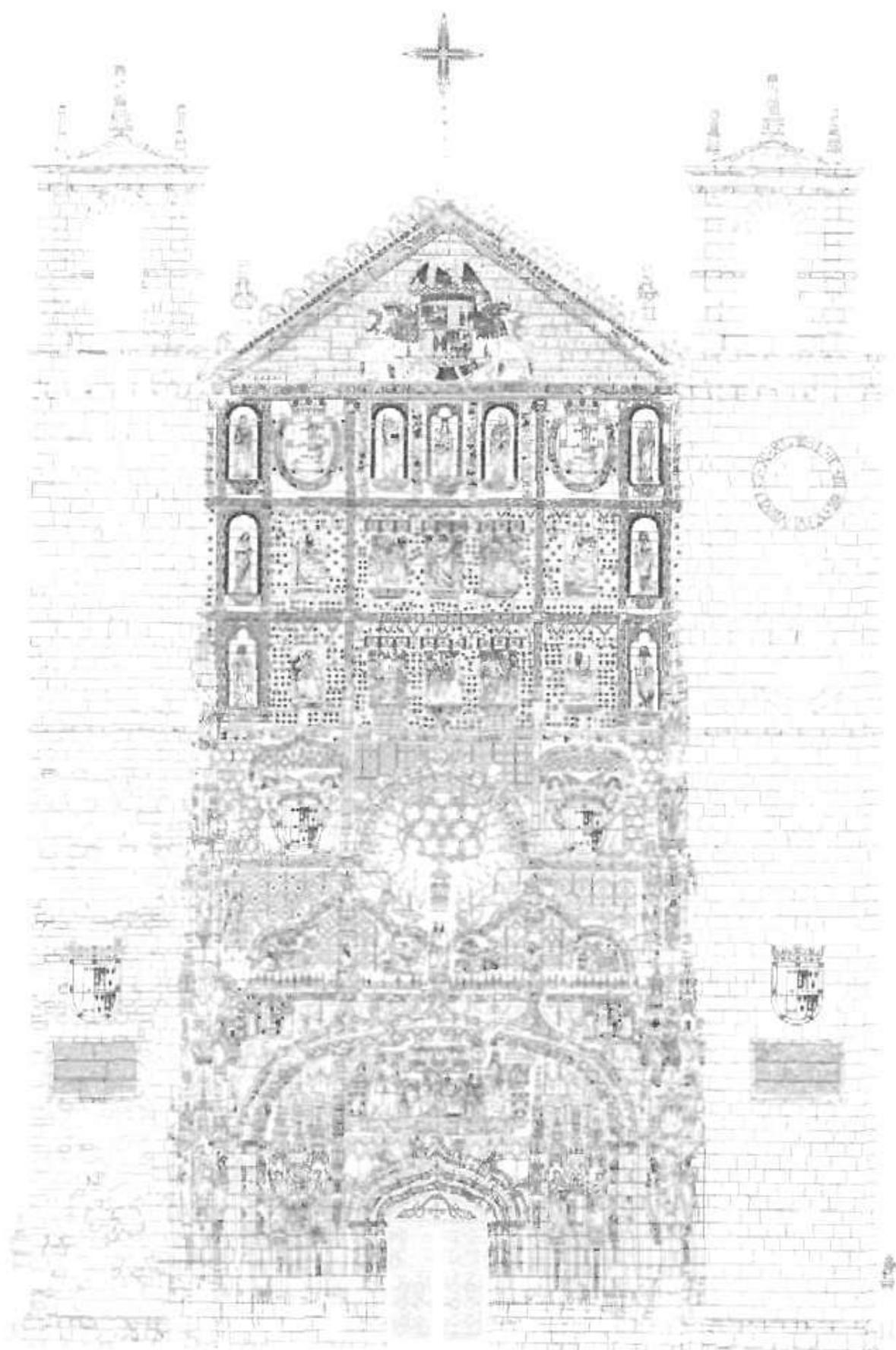
En la actualidad, este tipo de documentación está siendo utilizado masivamente por los equipos de restauración y los de arqueología, que centran su trabajo en el estudio de las superficies de la arquitectura. Sin embargo, una sucesión de estas imágenes fotográficas no pueden sustituir la representación dibujada de una arquitectura, ya que únicamente pueden reflejar la textura de sus superficies, olvidándose de aspectos tridimensionales tan fundamentales como los espaciales, formales, funcionales y constructivos, etc. y debe complementarse con la representación de los perfiles de corte y de las formas de la arquitectura. Por otro lado, estos documentos son imágenes "pixeladas" es decir, no son vectoriales ni analíticas, lo que constituye un inconveniente en el trabajo de campo y, sobre todo, en el dibujo del proyecto de restauración. Es en esta parte del proceso metodológico de un trabajo de restauración donde estas imágenes resultan claramente insuficientes, ya que sobre ellas, es prácticamente imposible elaborar los dibujos del proyecto de restauración: lo que acaba obligándonos a calcar de las fotos el dibujo de arquitectura, perdiéndose la precisión y las capacidades métricas del modelo fotogramétrico tridimensional y, sobre todo, obligándonos a realizar una mala restitución. La nube de puntos obtenida de un edificio con el escaneado láser 3d es extensísima y muy precisa pero, lamentablemente, no representa nada, pues los puntos obtenidos no pueden identificarse, ni asociarse con sus homólogos del edificio. Un par fotogramétrico orientado y sin restituir, constituye también una nube de puntos todavía más densa que la que puede obtenerse del objeto en el espacio de un escaneado láser 3d. En realidad, estos puntos sólo adquieren entidad si somos capaces de seleccionarlos y nombrarlos -reconociendo de forma específica su situación en el monumento- uniéndolos con otros puntos próximos mediante líneas o superficies que pueden identificarse con las aristas, los contornos y las formas de la arquitectura representada. *Un escaneado láser 3D de una arquitectura -como un conjunto de pares fotogramétricos orientados- necesita de un trabajo de manipulación y restitución posterior para extraer la métrica y la geometría que representa la arquitectura que se está levantando.* En el caso de la fotogrametría este reconocimiento es puramente visual y analógico, ya que la operación de selección de los puntos más representativos del edificio la realiza el operador, calcando del modelo virtual. Para realizar la selección de los puntos obtenidos del láser 3D que representan la geometría del edificio se deben aplicar una serie de condiciones métricas y analíticas que per-

miten discriminar aquellos que cumplen unas características geométricas determinadas. Una de las grandes aplicaciones de esta técnica es su capacidad para obtener fácilmente la geometría mallada de superficies complejas, lo que tiene numerosas aplicaciones industriales. En restauración esta técnica se está utilizando con éxito para definir con precisión las superficies de las bóvedas y obtener la reproducción de esculturas sin moldes.

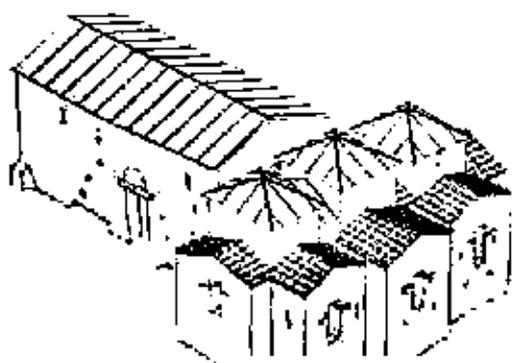
Por otro lado, también hemos comprobado cómo desde el campo de la arquitectura se minusvalora repetidamente el esfuerzo que supone realizar levantamientos precisos y detallados, considerándolos innecesarios con argumentos tipológicos y estéticos en los que se repite constantemente la polémica que hemos planteado en el preámbulo. Recientemente, hemos tenido que escuchar de una profesora de historia de la arquitectura, que para qué era necesario un levantamiento como el que estamos realizando: "si los constructores de ese monumento probablemente lo hubiesen trazado con poca más que una cuerda y un sistema de medida muy rudimentario". Lamentablemente, este argumento se repite constantemente para justificar los levantamientos idealizados de la realidad construida utilizados habitualmente en los trabajos de restauración.

Sin embargo, esta afirmación nos permite introducir en el discurso el problema que plantea el error provocado en la medición de un levantamiento y de los niveles de precisión necesarios para el desarrollo de un trabajo de restauración. Por ejemplo, aunque sabemos que el trazado de un arco de medio punto nunca será semicircular, ya que la clave habrá descendido en el proceso de su puesta en carga y sus apoyos se habrán separado, tendemos a despreciar esta deformación dada su escasa entidad en relación con las medidas generales del arco y, sobre todo, con respecto al error introducido en una medición con cinta. Además, a la hora de valorar este error hay que tener en cuenta la dificultad real de obtener el diámetro en el arranque de las piezas de salmer, sin el apoyo de medios auxiliares, sobre todo si el arco arranca desde pilares o pilastras rematados con capiteles. Por otro lado, si lo que pretendemos con el levantamiento es deducir la medida utilizada por el arquitecto para diseñar el arco también hay que valorar que esta medida se encuentra alterada en la realidad por el error introducido durante su trazado y su construcción.

De hecho, es esta suma de errores que se acumulan en el proceso de un levantamiento, el que conduce a muchos arquitectos e investigadores a minusvalorar la precisión como un



3 Alzado de la iglesia de San Pablo en Valladolid. Latorre y Cámara, arquitectos, restitución de Esperanza Ducar y Francisco Arroyo. Fundación Caja Madrid y Junta de Castilla y León



6. Perspectiva axonométrica de la propuesta de restauración de la iglesia de Santa Lucía del Trampal en Alcuéscar, Cáceres. Junta de Extremadura. Dibujo de Antonio Almagro. (Caballero y Sáez 1999: 312)

esfuerzo inútil y a dibujar este arco perfectamente semicircular con su diámetro obtenido de una simple medida con cinta. Es lógico, por tanto, que en el proceso de un levantamiento de un monumento se realice habitualmente la geometrización de las formas que se están representando, dada la imposibilidad técnica de dibujar con precisión, sólo con el auxilio de una cinta métrica, su geometría deformada. No debe extrañarnos encontrar propuestas de trazados de proporciones, estudios métricos comparativos, de sus fases constructivas o modelos de elementos finitos, etc. que se deducen de levantamientos esquemáticos de la realidad.

Lamentablemente, es esta barrera metodológica entre los sistemas analógicos y analíticos la que impide obtener levantamientos de calidad y la que exige de los profesionales el "esfuerzo más complejo". Actualmente es inevitable, al realizar un levantamiento, utilizar y combinar ambos sistemas, seleccionando en cada caso las técnicas y herramientas de medición, registro y representación más adecuadas. La topografía dota al levantamiento de una precisión controlada, encajando en el espacio analítico todo el trabajo de levantamiento. La fotogrametría permite la representación de toda la "geografía" de las superficies del monumento en 3d, con todo el detalle necesario y con un nivel de precisión alto, pero la geometría de los perfiles de la arquitectura queda muchas veces desdibujada por las propias limitaciones que impone la degradación de la realidad y el modelo fotográfico utilizado. No es posible, ni con topografía, ni con fotogrametría, dibujar la sección de una carpintería, el trazado y la geometría del perfil de una moldura deteriorada, etc. lo que exigirá un trabajo de interpretación y síntesis de la propia realidad que deberá realizarse en el propio monumento, utilizando las herramientas más tradicionales del levantamiento analógico.

PRECISIÓN Y DETALLE DEL LEVANTAMIENTO

Antes de la aparición de la informática y de los programas de CAD, el dibujo era el único sistema capaz de registrar la medición del levantamiento. Las medidas que se obtenían del monumento se reflejaban en el dibujo a escala del que, posteriormente, podían extraerse midiendo con un escalímetro. De este modo, la precisión con la que se había obtenido una medida concreta quedaba superada a la precisión de su representación y ésta a la escala del plano. Un recurso alternativo era registrar esta medida mediante su anotación escrita en el plano, pero la utilización masiva de este recurso alteraba demasiado la claridad de la representación. La escala con la que se realizaba un dibujo limitaba también su nivel de detalle, cuanto mayor era la escala aumentaba la posibilidad de dibujar los elementos más ricos y complejos formalmente. En la actualidad, el registro y dibujo en los sistemas de CAD ha hecho desaparecer el concepto de escala en el trabajo de levantamiento. El espacio analítico e "infinito" del CAD permite la representación de la arquitectura con todo el nivel de detalle y de precisión con el que seamos capaces de introducir la información. Además, el dibujo se convierte en una base de datos numérica que puede consultarse gráficamente. En este contexto, los valores de precisión y detalle son independientes entre sí, al perder su relación con la escala de la representación. Con una simple medición con cinta, es posible realizar un levantamiento geométricamente muy detallado de un monumento, pero con un nivel de precisión escaso. Por el contrario, podemos obtener con gran precisión las coordenadas de los puntos de los extremos de una arista, pero su representación -sólo con esta información- carecerá de detalle ya que la estaremos suponiendo recta.

La precisión de las mediciones que se realizan en un levantamiento y el nivel de detalle conseguido en la representación definen su calidad y determinan la metodología y las

herramientas necesarias para su obtención. Parece lógico, a la hora de abordar el levantamiento de un monumento, que los niveles de detalle y precisión se establezcan en función de su utilidad. Almagro define tres niveles que designa como:

- *Reconocimiento*, fotografías y croquis sin escala pero bien proporcionados;

- *Documentación preliminar*, planos generales con errores menores a 10 cm y detalles con errores entre 3 y 5cm;

- *Documentación de detalle*: planos generales con errores entre 3 y 5cm y detalles con errores entre 3 y 1cm²³.

Almagro relaciona estos niveles con la metodología, las técnicas y los equipos que las posibilitan y que podemos resumir con su propia expresión de que pueden realizarse levantamientos a pasos, con cinta, y usando la topografía y la fotogrametría. Sainz establece también tres niveles de precisión y detalle que califica como:

- *A ojo o sumario*, a mano alzada y sin el auxilio de instrumentos;

- *Habitual*, con medidas efectivas donde el monumento es accesible;

- *Científico*, con el auxilio de equipos y personal especializado²⁴.

Niveles de precisión

La precisión absoluta con la que se obtienen las coordenadas de la representación de un punto se establece en función de la desviación que, con respecto a un origen de coordenadas (0,0,0) previamente establecido, tiene su posición en la realidad. En un trabajo de medición analógica sólo puede hablarse de una precisión grosera, ya que no existe ningún control del error introducido en la medición, sobre todo, si las medidas obtenidas no se encuadran en una malla o poligonal de referencia de precisión controlada. El control del error introducido en la medición sólo es posible si el sistema de referencia de la medición tiene una base analítica que garantiza los niveles de precisión conseguidos. En un trabajo de levantamiento, la medición analógica sólo puede introducirse encuadrada entre una serie de puntos de coordenadas obtenidas analíticamente con una precisión absoluta conocida. La precisión relativa de los puntos obtenidos desde un segundo origen de coordenadas se establece sumando a la precisión con la que se han obtenido éstos, la precisión absoluta con la que se ha obtenido su origen.

Para garantizar la precisión de un levantamiento, se debe exigir los croquis y cuadernos de la planificación realizada y del desarrollo del trabajo de campo, los listados de las medicio-

nes realizadas y de las coordenadas de todos los puntos del sistema de referencia, y la justificación de la precisión absoluta con el que se han obtenido que debe estar siempre sujeta a comprobación. De modo general, pueden establecerse tres niveles de precisión en el levantamiento, asociándolos con una escala específica de dibujo que nos permitirá relacionar la precisión con un nivel de detalle coherente.

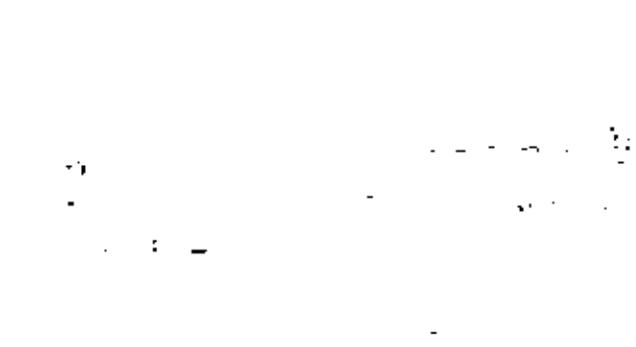
- 1º nivel: precisión < 5-10 cm; e: 1/1.000, 1/500 y 1/200

- 2º nivel: precisión < 3-5 cm; e: 1/100 y 1/50

- 3º nivel: precisión < 1-3 cm; e: 1/25, 1/20 y 1/10

A la hora de abordar un trabajo de levantamiento, es necesario evaluar el coste exponencial que lleva aparejada la precisión y que debe siempre adecuarse al objetivo del trabajo, evitando precisiones innecesarias e inútiles. En cualquier caso, en un levantamiento que vaya a utilizarse para desarrollar el proyecto de ejecución de una obra de restauración debe garantizarse por lo menos en la totalidad del levantamiento el 2º nivel de precisión definido. Difícilmente se puede estudiar un monumento o diseñar con precisión los detalles constructivos del proyecto de restauración sobre el dibujo de una estructura que no está dibujada con el mismo nivel de precisión y detalle con el que se realizará el nuevo diseño. Pero sobre todo, al evaluar la necesidad de garantizar la precisión en un trabajo de levantamiento, es fundamental entender las aplicaciones que pueden extraerse para su análisis constructivo y estructural. En el estudio de las estructuras de fábrica debemos tener presente que el problema de su equilibrio es fundamentalmente un problema de geometría: la distribución de las masas en el espacio determina la estabilidad de la construcción. En las obras de fábrica no es posible confiar la estabilidad a la resistencia de los materiales, porque sabemos: primero, que no tienen capacidad para resistir tracciones ni consecuentemente flexiones y segundo, porque aún trabajando siempre a compresión, la magnitud que pueden llegar a tener estos esfuerzos debe quedar siempre muy limitada para no incurrir en daños locales del material que pueden finalmente afectar al equilibrio global.

Esta condición geométrica se podría expresar del siguiente modo: un arco o una bóveda se cae cuando "cabe" entre sus apoyos. La evolución inevitable de los materiales de una fábrica en el tiempo es su deformación progresiva en la dirección de los pesos y empujes que soporta. Cuando hablamos de la acción del tiempo sobre los monumentos, no estamos evocando una figura poética, nos referimos a una sucesión de fenómenos físicos y químicos provocados por la alternancia de saltos higrótérmicos y la interacción de los mate-



↑ Sección longitudinal de la Iglesia de la Colonia Güell de A. Gaudí. Latorre y Cámara, arquitectos. Servicio del Patrimonio Arquitectónico Local de la Diputación de Barcelona

riales con su entorno inmediato. Es entonces cuando afirmamos que el tiempo daña a las construcciones y las conduce a su inevitable ruina y desaparición.

Antes de decidir en qué consistirá nuestra intervención, necesitaremos conocer en qué momento de ese proceso nos encontramos, cuán cerca o lejos del estado final de la ruina y qué posibilidades tenemos de evitarla. Nos encontraremos una construcción que en el tiempo transcurrido desde su construcción ha adoptado una forma, similar a la ideal con que fue concebida, pero afectada por reformas, restauraciones, demoliciones y reconstrucciones parciales, etc., posteriores. Representar y estudiar esa forma alterada por el tiempo nos permitirá deducir las causas que la han provocado. Por ejemplo la alteración de la traza del arco será distinta si ha habido asentos en el terreno o si se han producido sismos o ruinas parciales; la diferente cualidad de los materiales constructivos en unas partes y otras del edificio o la distinta exposición al sol y el agua, influirán también en esa evolución. Con el tiempo, el arco guardará en su forma deformada la memoria de todos esos procesos para que nosotros sólo tengamos que interpretarlos.

Nuestra experiencia en los trabajos de levantamiento nos confirma que la deformación de una estructura casi nunca es simétrica, ya que las condiciones de contorno de los apoyos siempre son diferentes. En el caso de arcos y bóvedas, un movimiento asimétrico de sus apoyos provoca una deformación irregular de su directriz, que adopta la forma del perfil de una naranja o una patata. Evidentemente, la interpretación de esta geometría sólo es posible si empezamos por una transcripción fiel de su estado, sin añadir ni quitar nada de lo que allí hay. Sólo la interpretación correcta de su geometría deformada nos permitirá plantearnos una hipótesis correcta de su trazado original y de cómo éste se deformó, afectado por el movimiento de sus apoyos en el tiempo. Necesitamos una



representación exacta de la forma del arco en su estado actual, del arco y de todo lo que lo rodea: sus apoyos y sus cargas, los materiales que los componen y su estado de conservación. Cualquier evaluación de su estado a partir de datos incompletos o inexactos resultará errónea e ineficaz, y probablemente nos llevará a obras innecesarias y dañinas para la construcción²³ (fig. 9).

La representación deberá incluir el dibujo completo de la estructura, con unos rangos de precisión en la definición geométrica de todos sus elementos que permita apreciar sus desplomes, flexiones y curvaturas en las tres dimensiones del espacio. Si perdemos alguna de éstas tres dimensiones, habremos soslayado gran parte del problema, pues los edificios son cuerpos en el espacio, carecen de existencia en el plano, éste sólo sirve para hacer una representación aproximada y convencional, tanto de lo que existe —el levantamiento— como de lo que ha de existir —el proyecto—.

No es posible establecer cuál ha de ser la precisión necesaria para el levantamiento: la obtención de la traza del arco con una medición obtenida de una estación total-láser de alta precisión, puede dar importancia a sucesos claramente accidentales desde el punto de vista del equilibrio de la estructura, como la erosión de sus aristas o pequeñas fracturas del material —que tendrán su importancia en otro momento del análisis— mientras que dejará quizá sin respuesta otros problemas más importantes, como los espesores de los materiales o la geometría de los elementos que cargan o sustentan el arco.

En todo caso, podríamos establecer dos niveles de precisión en el dibujo concreto, uno para el de la traza geométrica de las masas construidas y otro para el de sus espesores. Si el primero se puede situar entre los cinco y ocho centímetros de error máximo, el segundo no deberá ser mayor de dos o tres centímetros. La explicación es sencilla: la mayoría de los arcos de los edificios históricos puede tener unas luces de

Alzado frontal de la Iglesia de la Colonia Güell de A. Gaudí. Latorre y Cámara, arquitectos. Servicio del Patrimonio Arquitectónico Local de la Diputación de Barcelona.

entre seis y quince metros. Los hay mayores, obviamente, pero son contados y, en todo caso, como se verá, el argumento es todavía más aplicable en ellos. Con esas dimensiones, el error establecido viene a ser menor del 1%. En cambio, los espesores de los elementos constructivos se situarán en general entre los veinticinco centímetros y el metro y medio, con lo que los errores porcentuales marcados podrían ser de hasta un 10%, lo que tendría una gran incidencia en el cálculo de masas y empujes.

Sin embargo, lo más importante en el levantamiento global será la relación entre unos elementos y otros. El problema mayor del levantamiento convencional analógico, por medición directa de los elementos constructivos y de sus dimensiones, no está en el error que se pueda cometer en estas mediciones, sino en la relación entre ellas, en la enorme dificultad, por no decir imposibilidad, de conseguir con esos medios que la planta de un determinado nivel se sitúe exactamente donde debe estar en relación con las otras, o que las alturas medidas en distintas secciones se refieran a los mismos orígenes.

Es fundamental asegurar la correspondencia exacta entre las distintas partes del edificio, pues el análisis constructivo y estructural debe poder establecer, no sólo las magnitudes de las cargas o de las capacidades portantes de los elementos – problema de los espesores– sino, sobre todo, cómo se distribuyen y transmiten las cargas y los empujes hasta llegar al suelo. Sólo los métodos de medición indirecta, analítica, permiten establecer correctamente estas relaciones: la referencia topográfica a un origen único de las tres coordenadas de todo el modelo tridimensional del edificio y el dibujo de cada elemento en su posición en el espacio mediante el uso del CAD, permiten establecer esas relaciones.

La precisión del levantamiento, en definitiva, deberá enfocarse a estos tres objetivos: la obtención de una representa-

ción geométrica precisa de la forma de cada elemento constructivo, con sus desplazamientos y deformaciones; la determinación correcta de los espesores de esos elementos para la evaluación de sus masas; y la exacta relación tridimensional entre todos ellos. A partir de aquí, el levantamiento entrará en otros aspectos, también importantes de cara a la evaluación de la seguridad y perdurabilidad de la obra, pero que tendrán más que ver con la minuciosidad del detalle que con su precisión: la representación de las lesiones estructurales, fisuras de la fábrica y fracturas del material, que acompañan inevitablemente a las deformaciones generales y son por ello tan significativas como éstas en esa evaluación. El levantamiento debe, sobre todo, procurar representar con minuciosidad todas las existentes y que su situación en el modelo sea correcta, pero sin requerir un control exhaustivo de su precisión dimensional.

Hasta ahora, y en general, los estudios que se efectúan sobre las construcciones de fábrica se apoyan en geometrías idealizadas, soslayan la realidad de la deformación existente y utilizan herramientas de análisis inadecuadas, como el método de elementos finitos. Con independencia de cuál sea el método de cálculo adecuado, lo que no puede dejar de aceptarse es que el edificio es el mejor testigo de su historia y de los sucesos constructivos que lo han configurado. Cualquier análisis estructural debe intentar explicar su estado real de deformación y fisuración sin pretender que el cálculo de la estructura pueda ser más fiable que la propia estructura del edificio. El resultado del cálculo deberá siempre contrastarse con la realidad actual y será inútil si se aleja de ella. Esta comparación sólo será posible si contamos con una representación precisa y fiel de esa realidad. El dibujo, tal y como lo presentamos en nuestro trabajo, se convierte en herramienta imprescindible para el análisis de la estabilidad actual y futura de las estructuras de fábrica, aunque con él solo no baste.

Niveles de detalle y criterios de representación

Para ahondar el conocimiento integral de un monumento es necesario disponer de un levantamiento con un nivel de detalle que permita reconocer, localizar e individualizar en el plano cualquier elemento del edificio que se esté investigando. ¿De qué nos sirve caracterizar la tipología de todos los materiales que construyen un monumento, el cuadro de las patologías existentes o determinar las fases de la construcción, si no podemos asignar de forma específica el tipo, la patología o el momento de colocación de cada uno de los materiales que lo construye?

¿Cómo pueden el geólogo, el restaurador, el historiador o cualquiera de los especialistas que participa en la fase previa de investigación de un proyecto de restauración estudiar un problema concreto, si en el desarrollo de su trabajo de campo no pueden señalar en el levantamiento las observaciones que van deduciendo de la realidad o la pieza exacta de la que han extraído una muestra?

En el levantamiento para la restauración es necesario individualizar, a través de un contorno dibujado, todos los elementos que conforman el monumento. Aquel material, fisura, erosión, rotura, patología, etc. que no se dibuja, es imposible que después podamos localizarlo y referirnos a él de forma específica, asignándole una característica determinada. Debe existir una entidad gráfica que nos permita reconocer, a través de su trazado, cada uno de los elementos que componen un monumento, estableciendo una relación directa entre la realidad y su representación. Esta relación se produce por la semejanza que existe entre la forma del objeto y la del contorno de su representación, y por el contexto topológico en el que se sitúan -en una posición concreta y rodeadas de otras formas específicas- tanto en el espacio del edificio como en el espacio analítico del modelo 3D o en su proyección sobre un plano.

Para conseguir un nivel de detalle adecuado y "normalizar" en nuestro trabajo la representación que hacemos de la arquitectura, hemos realizado la siguiente clasificación de los contornos que pueden dibujarse de un monumento y que permiten su correcta representación:

- Las **aristas** que definen cambios de plano y que componen la geometría principal del objeto arquitectónico o del yacimiento.
- Las **aristas de la geometría de la decoración** de todos los elementos de especial valor artístico o de relevancia tipológica. Muchas veces es difícil al dibujar discriminar estos dos tipos de línea ya que las líneas de decoración (que también constituyen aristas) formarán parte intrínseca de la propia es-

tructura arquitectónica. La complejidad gráfica que puede llegar a tener el dibujo de algunos de estos elementos -especialmente los decorativos- puede obligarnos a separarlos en capas de dibujo, por lo menos en dos niveles diferentes, para permitir su trazado en papel a escalas diferentes.

- Las **juntas de los aparejos constructivos que no suponen cambio de plano**. La mayoría de las veces las juntas entre materiales se representan con una línea sencilla aunque nosotros preferimos individualizar mediante contornos cerrados cada uno de los materiales que componen el edificio.

- **Fracturas y fisuras** visibles y reconocibles en las superficies representadas.

- **Contornos de degradación, erosión** o alteración de los materiales.

- **Contornos de materiales y otros elementos u organismos** ajenos a la construcción y que se adhieren a la superficie alterándola física o visualmente (vegetación y plantas, manchas de excrementos y restos de animales, curvas o manchas de humedad o escorrentía, costras, oxidación, etc.).

- Los **perfiles de sección** que marcan el corte o separación entre los elementos macizos de la construcción y los espacios de la arquitectura.

- También pueden representarse el **color o las texturas** de los materiales mediante la utilización de tramas que también se utilizan para señalar características específicas de determinados elementos o de áreas de las superficies de la arquitectura que cumplen determinada condición o presentan determinada alteración.

Esta clasificación puede variar en cada levantamiento en función de las características del monumento y el objetivo de la representación²⁶. Además, la clasificación de los tipos de líneas de un dibujo nos permite en el CAD separarlas en capas y activarlas de forma independiente para definir diferentes niveles de detalle, en función de la escala que se utilice en la representación.

- 1º nivel: aristas y perfiles: 1:1000, 1:500, 1:200

- 2º nivel: aristas, juntas, 1º nivel decoración y perfiles; 1:100, 1:50

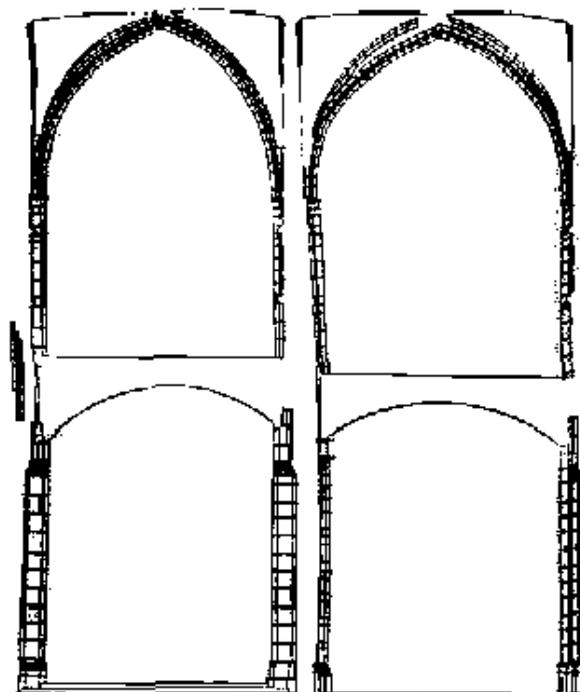
- 3º nivel: todas las líneas con todo su detalle: 1:25, 1:20, 1:10

Metodológicamente, es imprescindible disponer, en la fase de estudio e investigación de un monumento, de un levantamiento con un nivel de detalle que permita -mediante un código gráfico de tramas y colores- asignar elemento a elemento cada una de las características estudiadas. Por ejemplo, al realizar un mapa litológico del material pétreo que construye un edificio de fábrica, es necesario poder de-

finir la litología específica de cada pieza asignándole un color, también es necesario definir la extensión de determinadas patologías en la superficie de los muros, establecer en la lectura arqueológica los materiales específicos que componen cada una de las fases de construcción, definir la posición y dimensiones de las fisuras, etc. El detalle de un levantamiento también nos permitirá colocar, sobre la representación de una pieza concreta, el símbolo que identifica la posición exacta de la que se extrae una muestra, se realiza un ensayo o se coloca un aparato de medición. En el trabajo de campo es la analogía que se establece entre la realidad y su representación la que nos permite identificar con rapidez cada elemento o material del edificio y dibujar sobre él un símbolo, o mancharlo con una trama o un color que asociamos con una característica determinada.

Designamos como "cartografías temáticas" al conjunto de planos de un levantamiento en el que se representan los resultados de un estudio concreto del monumento. De un levantamiento gráfico detallado se podrán obtener -entre otras- las siguientes cartografías temáticas²⁷:

- *Materiales*, identificación y distribución de los diferentes tipos existentes en cada grupo (pétreos, cerámicos, maderas, metálicos, morteros, etc.) y situación de las muestras y sondeos extraídos para su caracterización.
- *Elementos constructivos (incluido el suelo)* con definición de las tipologías de las fábricas y aparejos, estructuras de madera, revestimientos, carpinterías, estratigrafía del suelo, etc. y de sus contornos en planta y alzado, localización de sondeos (incluido el estudio geotécnico) e inspecciones endoscópicas, resultados y definición de secciones constructivas.
- *Arqueológica* del monumento y del subsuelo, con definición de las unidades estratigráficas, líneas de interfaz y de las fases de la construcción existentes y su ordenación cronológica (fig. 10).
- *Humedades de escorrentía*, situación de goteras y roturas del sistema de evacuación.
- *Humedad relativa de capilaridad* en los materiales y definición de los diferentes contornos estacionales.
- *Sales* con la definición de los diferentes contornos estacionales.
- *Biológica* con la identificación, caracterización y áreas afectadas por las especies activas.
- *Temperatura y humedad relativa del aire* en los diferentes espacios del edificio con curvas gradientes de los diferentes contornos estacionales.



27 Sucesión del alzado norte de los de los arcos peripetos deformados del transepto sur de la Catedral de Santa María de Vitoria, Álava. Latorre y Cámara, arquitectos. Fundación Catedral Santa María de Vitoria-Gasteiz

- *Patologías y alteraciones de los materiales*, identificación y distribución de las patologías existentes y situación de las muestras extraídas para su caracterización.
- *Deformaciones* de la estructura e interpretación de los movimientos históricos, a partir de una supuesta geometría inicial.
- *Movimientos activos* detectados en la estructura y localización de los diferentes equipos de medición utilizados y de los resultados obtenidos.
- *Fracturas y fisuras* existentes en las fábricas, valoración y relaciones entre ellas y con los niveles de deformación y movimientos definidos.
- *Lesiones estructurales* de los diferentes cuerpos de la fábrica con evaluación de cargas y determinación de líneas de empujes.
- *Inventario* de los elementos artísticos y tipológicos más relevantes de la arquitectura y de los bienes muebles existentes y su localización en el edificio.
- *Superficies, usos y circulaciones*, cuadro de superficies con distribución y designación de los usos de los espacios y de las circulaciones existentes.
- *Instalaciones* y redes de alimentación, distribución y evacuación existentes de: fontanería, saneamiento, electricidad y alumbrado, calefacción, ventilación, protección contra incendios, seguridad, telecomunicaciones, etc.

En nuestro trabajo de levantamiento, siempre que es posible, dibujamos el contorno completo de cada material o elemento individualizándolo -con un contorno específico-, evitando reducir la representación de la junta a una simple línea. Esta forma de representar los aparejos nos permite asociar a cada elemento o material del edificio una entidad gráfica específica y diferenciada en el dibujo del CAD que posteriormente puede relacionarse con una determinada característica de una base de datos alfanumérica asociada al elemento representado. En el trabajo informático esa relación entre entidades gráficas y valores numéricos o escritos de una base de datos constituye lo que se conoce como un sistema de información cartográfico que, en este caso, será específico del monumento. Este sistema de información del monumento (SIM) puede consultarse, tanto desde el plano, con respuesta en la base de datos como a la inversa, obteniendo de forma automática mediante consultas, cartografías de temas específicos²⁶.

A medida que este proceso de toma de datos y definición de las características y patologías del edificio va completándose, los planos del levantamiento irán llenándose de colores, tramas, signos, textos, etc., y la base de datos relacionada a estos códigos ira completándose con la información recogida de los diferentes estudios. De este modo, el trabajo de investigación irá convirtiendo las superficies del edificio (a través de los planos) en una suerte de hechos relacionados topológicamente.

Uno de los principales objetivos del levantamiento será precisamente su capacidad para permitirnos relacionar la realidad con los datos extraídos de los estudios realizados superponiéndolas, a través de los datos recogidos en las diferentes cartografías temáticas, en un espacio concreto del monumento. Son precisamente las relaciones que podemos establecer entre las diferentes características y patologías definidas las que nos permiten establecer conclusiones y un diagnóstico justificado sobre el origen de éstas, proyectando en consecuencia y de forma transversal, las soluciones adecuadas en la restauración.

Finalmente, el nivel de detalle de un levantamiento nos permitirá en la fase de proyecto, delimitar el alcance de los tratamientos propuestos para la restauración, que se podrán individualizar a cada uno de los materiales representados. Además, las soluciones del proyecto, a nivel de ejecución, podrán dibujarse sobre el levantamiento con el mismo nivel de detalle y precisión con el que se haya realizado éste, en la seguridad de que su métrica será la correcta y su impacto formal y constructivo podrá ser evaluado con seguridad antes de su ejecución (fig. 11).

EL LEVANTAMIENTO PARA LA RESTAURACIÓN: LA REPRESENTACIÓN DEL TIEMPO

Aunque entre algunos de los mejores especialistas en restauración parece claro que el levantamiento de la arquitectura histórica, necesaria en los trabajos de restauración, debe reflejar con precisión y fidelidad su realidad construida²⁷, la mayoría de los levantamientos de arquitectura siguen realizándose dibujando únicamente la geometría de las aristas y una simplificación idealizada de los elementos decorativos. En muy contadas ocasiones se dibujan los aparejos o se simplifica su representación mediante una trama. Cuando la geometría del monumento está deformada, alterada, o rota se suelen corregir estas irregularidades regularizando su trazado y eliminando los contornos de la degradación, las alteraciones, fracturas, fisuras, etc. que desfiguran la forma "original" de la arquitectura.

A la hora de valorar las razones por las que los levantamientos de arquitectura siguen todavía mayoritariamente estos parámetros, es necesario entender que el profesional encargado de realizarlos - generalmente arquitecto- esta condicionado por las herramientas conceptuales y metodológicas de su disciplina y carece de los conocimientos de la técnica y de los equipos necesarios para obtener un levantamiento de precisión. En primer lugar, existe una tradición del dibujo y de la disciplina de proyectos que hace que el arquitecto repita el proceso que habitualmente desarrolla en su trabajo, trasladando por analogía -directamente al plano- las imágenes de su pensamiento arquitectónico, que ahora sustituye por la imagen idealizada del monumento que está visualizando.

Un arquitecto, inconscientemente, tiende a idealizar la geometría de la arquitectura que imagina al observar la realidad, dando forma a lo deformado. Suele dibujar siempre una arista recta y un arco de medio punto semicircular, porque esa es la forma con la que fueron concebidos y construidos y la forma con la que él los dibujaría en un hipotético proyecto del edificio que está levantando. Con este planteamiento, toda la tecnología analítica para registrar métricamente con precisión la realidad, simplemente resulta inútil y molesta, ya que su uso y los datos que se obtienen impiden una formalización adecuada del monumento. El arquitecto justifica así su trabajo de levantamiento tras una operación de restitución análoga de la realidad construida que adapta a sus herramientas habituales de trabajo y a la técnica de medición más sencilla (con cinta métrica), que es la única que conoce y es capaz de utilizar, de acceso fácil y económico.



11. Sección constructiva longitudinal por el pórtilo del anteproyecto de restauración de la Catedral de Santa María de Vitoria-Gasteiz. Latorre y Cámara, arquitectos. Fundación Catedral Santa María

Siguiendo esta metodología, el mejor levantamiento acaba convirtiéndose -a través del dibujo- en una auténtica operación de "ripristino" arquitectónico, mediante el estudio riguroso de las formas y la composición de la arquitectura que está levantando³⁰. Enlazando con la anécdota que explicábamos en el preámbulo, se puede entender por qué -desde una óptica más académica- se han criticado los resultados gráficos de los trabajos fotogramétricos, precisamente porque en su afán por representar la realidad, las restituciones muchas veces son incapaces de hacer inteligibles las formas de la arquitectura de elementos deteriorados o erosionados que pueden quedar desdibujadas³¹.

La utilización de la topografía y especialmente de la fotogrametría terrestre como técnicas de levantamiento permitieron ya desde finales del siglo XIX la aparición de algunas representaciones muy detalladas y precisas de la arquitectura que contrastaban con las representaciones más académicas. Desde ese momento, la fotogrametría arquitectónica fue tomando cuerpo como disciplina en los diferentes servicios de restauración estatales, los únicos que podían permitirse la adquisición de estos costosos equipos y mantener personal es-

pecializado para realizar los levantamientos de sus monumentos más importantes³². Sin embargo, la investigación en el ámbito de esta disciplina se centró fundamentalmente en el desarrollo de las técnicas fotogramétricas -en continua transformación-, en los problemas que presenta la representación de la arquitectura a través de su restitución, y en su aplicación como técnica de documentación de la arquitectura, tal y como puede seguirse en las sucesivas publicaciones de los congresos del CIPA (Comité Internacional de Fotogrametría Arquitectónica).

Fue fundamentalmente en Italia, desde el campo de la arqueología aplicada a la investigación de la arquitectura³³ y desde la práctica de la restauración monumental -especialmente cuando la arqueología apareció ligada a la obra³⁴- donde se rompió metodológicamente con la tradición académica habitual de los levantamientos de arquitectura y este trabajo empezó a realizarse buscando intencionadamente la rigurosidad y la precisión y utilizándose como una herramienta fundamental del trabajo de investigación previo para la restauración.

La metodología arqueológica aplicada a la arquitectura exige que cada junta, enfosado, fisura o desconchón de los que

componen las superficies del edificio quede reflejado en la representación. El método del arqueólogo se basa en la observación minuciosa, detallada y descriptiva de la realidad que debe documentarse con toda fidelidad, lo que exige a los dibujantes y a los investigadores una gran capacidad de observación y una tremenda meticulosidad en la representación. De hecho, excavar es conocer y documentar la realidad que se va descubriendo en la excavación, interpretándola antes de hacerla desaparecer para descubrir un nuevo estrato y un nuevo contexto³⁵.

Pero no sólo es la realidad la que proporciona las claves a la investigación de un monumento sino, sobre todo, el orden con el que aparece esa realidad. Las relaciones que se establecen entre los distintos elementos que la componen son las que permiten interpretarla. No vale sólo con estudiar y describir qué aparece, sino que es imprescindible entender cómo aparece y porqué se presenta con una configuración determinada. Porque el qué y el cómo de la estructura conservada responden directamente a un proceso temporal, concreto, único y específico del edificio que ha determinado su construcción y degradación a lo largo del tiempo.

La fase de estudios previos a la restauración de un monumento debe partir de la comprensión de la simultaneidad de las condiciones sincrónica y diacrónica de la arquitectura histórica. La condición sincrónica nos obligará a estudiar la arquitectura del monumento tal y como se nos presenta, con unas características formales, constructivas y funcionales específicas y unas patologías concretas, la condición diacrónica a entender que su estructura responde a un complejo proceso de transformación en el tiempo que explica su propia historia³⁶. Esta doble condición es la que obliga a entender la arquitectura histórica: primero, como materia y estructura, con una configuración determinada y unas patologías concretas que inevitablemente tenemos que modificar para corregir sus deficiencias y evitar su destrucción; segundo, como un documento histórico que debe conservarse -tal y como se presenta- con el objetivo de poder transmitir toda la información inherente a las relaciones que la propia historia ha ido estableciendo entre sus elementos.

En la reciente Carta del Levantamiento Arquitectónico aprobada en Italia en el año 1999 y en España en el año 2000³⁷ se entiende el concepto de levantamiento en su sentido más amplio, como el de documentación y estudio completo del monumento. En el primer párrafo de su preámbulo la Carta determina como el requisito previo a cualquier intervención en

el patrimonio cultural su conocimiento, entendido como una compleja acción de investigación para reconstruir los procesos que la han configurado a lo largo del tiempo³⁸.

Las diferentes formas de alteración y erosión de los materiales, las deformaciones de su geometría y las fisuras, fracturas y roturas de su estructura no son más que la respuesta del monumento a la acción a la que le somete el medio, tanto físico como humano, en el que se encuentra inmerso. La respuesta puede ser inmediata, provocada por la puesta en carga del edificio, por una alteración súbita de su entorno, por una nueva obra o una acción exterior traumática (guerra, terremoto, etc.) y manifestarse a través de fisuras o fracturas acompañadas de un asentamiento o una deformación instantánea o corresponder a una degradación y erosión continua de la materia y a una lenta deformación de su estructura provocadas por la acción del medio ambiente.

Son precisamente estas alteraciones de la forma y la geometría "ideal" del monumento, señales y avisos de sus patologías históricas o actuales que proporcionan las claves necesarias para entenderlas y cuantificarlas decidiendo su actividad y gravedad en la actualidad. Sólo de su estudio, medida e interpretación se podrán deducir las causas que las han provocado y diagnosticarse su origen, proyectando las obras que las anulen, hagan desaparecer sus efectos o permitan a la estructura responder de un modo más adecuado en el futuro. Sólo una representación rigurosa de la realidad que recoja en el dibujo todos aquellos detalles que el tiempo ha impuesto al edificio, permite estudiar, ordenar y comprender el complejo proceso constructivo que ha sufrido el edificio y de como éste ha respondido lo largo de su historia al medio en el espacio que ocupa.

Es en este contexto, es en el que debe entenderse la necesidad de dibujar con precisión y fidelidad las deformaciones, erosiones, fisuras y todo tipo de alteraciones por deleznable y constructivamente pobres que nos puedan parecer, ajustándose con la máxima fidelidad posible a la realidad, antes de que la obra de restauración las modifique. Como herramienta para el trabajo de restauración es metodológicamente inútil obtener la representación de la arquitectura que algunos pretenden con mayúscula, la herramienta necesaria para acometer el estudio previo de un monumento es la representación de la arquitectura "histórica", tal y como se nos presenta en la realidad, afectada por las alteraciones que le impone su propia historia a lo largo del tiempo. ■

Notas

1. Sainz, J., 2005: El dibujo de arquitectura, Barcelona, esp. p. 17-40
2. Latorre, P., Cámara, L., 2002: Los procesos de transformación de la arquitectura en el tiempo. *Quaderns Científics i Tècnics de Restauració Monumental* 13, Barcelona, 161-177, esp. p. 163-165
3. Dozzi, M., 1993: Storia del rilevamento architettonico e urbano, Roma, esp. p. 167-199 y 201-240
4. Es preciso destacar el trabajo, entre otras muchas, de Carl von Linné, (1707-1778) y padre de la botánica moderna, Georges Cuvier (1769-1832) padre de la anatomía comparada y Ernst Haeckel (1834-1919) zoólogo, que fueron algunos de los mejores ilustradores de la naturaleza. En España es preciso recordar a José Celestino Mutis (1732-1808) cuyas magníficas láminas de botánica se conservan en el Jardín Botánico de Madrid o los dibujos histológicos o de las observaciones al microscopio de Santiago Ramón y Cajal (1852-1934).
5. Moleón, P., 2002: Paestum, las luces y el antiguo, en *Rovine della Città di Paesto* de Paulantonio Paoli, Instituto Juan de Herrera, Madrid, 1-37, esp. p. 1-2
6. Canina, L., 2000: *L'Architettura Egiziana, de 1839*, Instituto Juan de Herrera, Madrid, esp. p. 32
7. Op. cit. 3, esp. p. 114-128, 162-164, 194-197 y 238
8. "...el cometido del "levantador" de planos no es completamente objetivo como el de una máquina; que, por tanto, la representación gráfica de las operaciones de levantamiento no puede prescindir de las intenciones de los autores de las obras estudiadas, los cuales las habían concebido muy regulares, pero no estuvieron en condiciones de hacerlas así por una suma de causas ocasionales y contingentes, completamente extrínsecas a su voluntad..." Cita de P. Letournaud recogida por Sainz del libro de Luigi Vagnetti de 1958, *Diseño e arquitectura*, Genova, Op. cit 3, esp. p. 215 y op. cit 1, esp. p. 97
9. Almagro, A., 2004: Levantamiento Arquitectónico, Universidad de Granada, Granada, esp. p. 13-17
10. "Empezamos a tratar con gentes que nos hablaban un lenguaje extraño. Eran el cerrajero, el carpintero, el platero, y otros muchos. Teníamos que dar los dibujos de las cancelas de hierro, de los miradores, de la barandilla de la escalera... Volvimos a acudir por segunda vez a los libros de nuestra biblioteca y vimos con dolor que nos habíamos gastado el dinero inútilmente, pues no resolvían ninguno de los problemas que el ejercicio de la profesión nos planteaba. Y entonces cogimos un metro y nos pusimos a estudiar y a medir las puertas de hierro de las casas por las que pasábamos, los cercos de los balcones de nuestra propia vivienda, todos los detalles en fin, que habíamos tenido ante la vista constantemente y que no nos habían enseñado a ver. Una vez más la observación de la cotidiana realidad era la más provechosa enseñanza. Y los libros con los páneles vieneses, los colosales monumentos germánicos y las lujosas viviendas parisenses quedaban arrinconados, como cosas de escasa utilidad" Cita de Torres Balbás, recogida por Muñoz Cosme del artículo *Arquitectura contemporánea. Dos proyectos de alumnos de la Escuela de Madrid* (Muñedo, Pidal y Fernández Lurralde) en *Arquitectura* 1919, 72. Muñoz Cosme, A., 2005: La vida y la obra de L. Torres Balbás, Junta de Andalucía, esp. p. 32

11. Caballero, L. y Latorre, J.I. 1980: La Iglesia y el monasterio visigodo de Sta M^a de Melque (Toledo), *Arqueología y Arquitectura*, Mⁿ. de Cultura, planos
12. Incluida como una partida de la obra de restauración de la torre de Hércules. Miguel Ángel Nuñez realizó el levantamiento de los alzados de los muros interiores romanos, imposibles de documentar fotogramétricamente, debido a las dimensiones de estos espacios (Latorre 1995)
13. Son especialmente meritorios los levantamientos dirigidos por Luis Caballero de algunas iglesias prerrománicas realizados por José Ignacio Latorre (Santa María de Melque) y Miguel Ángel Nuñez (Santa Lucía del Trampal) y los realizados por Lorenzo Arias de la arquitectura prerromana asturiana siguiendo esta metodología de trabajo
14. "...Así hemos tratado también las iglesias de Sta María, Sta Comba y S. Pedro, como si fuesen un fragmento céntrico, o un estrato más en la excavación..." (Caballero 1980: 8)
15. Op. cit 9, esp. p. 47-53
16. Cundari, C. 1983: *Fotogrammetria architettonica*, Roma.
17. "...La habilidad del operador, su conocimiento del instrumento y de su manejo, su agudeza visual y capacidad de discriminación estereoscópica son factores básicos para la perfección métrica del dibujo." Almagro, A. 1988: La representación de la arquitectura a través de la fotogrametría. Posibilidades y limitaciones en *Fotogrametría y representación de la Arquitectura*, X Symposium Internacional del CIPA (1987), Granada, 81-90, esp. p. 83
18. "... Si la línea no tiene matices en su grosor e intensidad, si los tiene en su recorrido. Y esta característica de la línea es fruto tanto de la práctica del operador en el instrumento como de la seguridad con la que interpreta lo que está dibujando." Almagro, A. 1988: La representación de la arquitectura a través de la fotogrametría, X Symposium Internacional del CIPA (1987), Granada, 81-90, esp. p. 84
19. Los dibujos de arquitectura que hemos realizado en nuestro estudio se deben en gran parte al trabajo de todos los operadores de fotogrametría y arquitectos que han participado en su elaboración, especialmente de E. Dúcar y E. Arroyo responsables de algunas de nuestras mejores y más cuidadas restituciones
20. Caballero, L. y Sáez, F. 1990: La iglesia Mozárabe de Santa Lucía del Trampal, Alcuéscar (Cáceres), *Arqueología y Arquitectura*, MAQuEx, Junta de Extremadura, Mérida, esp. p. 312
21. Cámara, L., 1998: Sistemas de Información para la Conservación del Patrimonio, en *Fotogrametría aplicada a la Arquitectura*, II Jornadas de Fotogrametría arquitectónica, 1997, Valladolid, (traducción de 1997). Y Cámara, L., 2003: El modelo analítico tridimensional obtenido por fotogrametría, *Arqueología de la Arquitectura*, 2, 87-96. (traducción de 2002)
22. En este trabajo ha resultado imprescindible nuestra colaboración con José Vicario, experto en programación y profesor de dibujo técnico en la LPM
23. Almagro 2005, esp. p. 30-32
24. Sainz, J. 1991: El dibujo de levantamiento. Un instrumento gráfico para la investigación arquitectónica, en *Restauración Arquitectónica*, Valladolid, 185-203, esp. p. 186

25. Arkárate, A., Cámara, L., Lasagubáster, J.I. y Latorre, P. 2001: *Catedral de Sta María, Vitoria-Gasteiz. Plan Director de Restauración*. Diputación Foral de Álava, esp. p. 437-441

26. Op. cit 23, esp. p. 37

27. Op. cit 25

28. Cámara, L. y Latorre P. 1997: *Information Systems on Heritage Conservation en Photogrammetry in Architecture, Archaeology and Urban Conservation*. CIPA International Symposium 1997, Göteborg (Sweden). Coventry, 53-67. Y Cámara, L., 2000: *El sistema de información de la Catedral de Sta Ma de Vitoria y del nevaducto de Segovia en Il Rilievo dei Beni Architettonici per la Conservazione*, a cura di C. Cundari e L. Carnevali (eds) Roma, 220-231

29. "No se trata de dibujar una abstracción geométrica del objeto, sino de reflejar su realidad. Y en la realidad, las bóvedas de cañón nunca son perfectas, ni homogéneamente hemisféricas, ni los ábsides tienen planta perfectamente semicircular, ni las plantas de las estancias responden a figuras geométricas puras, ni la colocación de las tejas o enlosados sigue el orden preconfigurado en una plantilla o en un disco duro. Y si existen las deformaciones, casi siempre tienen un carácter tridimensional..." González, A. 1999: *La restauración objetiva*. Diputación de Barcelona, esp. p. 48

30. Ballesta, J.J., 2004: *La restauración de la capilla de San Isidro, en Madrid*, en *Papeles del Puntal* n°2, Noviembre de 2004, 97-121

31. "Así, los documentos fotogramétricos adquieren una consideración que se coloca en la contraria e inversa, de los levantamientos de monumentos de P. Letarouilly, tan famosos por haber sido "rectificados" y "regularizados" mediante el dibujo, hasta el extremo de haber sido traicionados los matices y cambiados de forma por medio del dibujo de Letarouilly. Y se constata, a su vez, estas fotogrametrías en traductores de las formas que tan fielmente representan, por no tener en cuenta en su representación técnica y exacta las leyes formales de composición de esas formas. Las representaciones fotogramétricas, los levantamientos, al operar perceptivamente, es decir, con una selección fotográfica, y representar, después, geométricamente, tiene en muchas ocasiones un problema de "falta de reconocimiento" del dibujo de los motivos rulos o deteriorados, que lleva a que muchas de ellas se hagan, en sus detalles, a veces ininteligibles..." Iglesias, H. 1994: *La lectura de los monumentos en Arquitectura* 299 3r. 12-18, esp. p. 16

32. Carbonell, M. 1988: *Evolution de la représentation de l'architecture dans les relevés photogrammétriques en Photogrammetry and representation de la Architecture*, X Symposium International del CIPA (1987), Granada, 17-31

33. Marino, L., 1982: *Appunti sul « Restauro Archeologico » en Contributi al « Restauo Archeologico »*, Università degli Studi di Firenze, Firenze, 139-163. Y Doglioni, F. 1997: *Stratigrafia e restauro*, Trieste

34. Doci, M. y Maestri, D. 1984: *Il rilevamento architettonico*, ed. de 1990.

35. Doria, Doci, M., 1994: *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*.

36. Doria y Marino, L., 1990: *Il rilievo per il restauro*, Milano

37. Cahaller, I., 1987: *El método arqueológico en la comprensión del edificio (sustrato y estructura) en Curso de mecánica y tecnología de los edificios antiguos*, COAM, Madrid, 13-59, esp. p. 24

38. Op. cit 23, esp. p. 52

39. Op. cit 9, esp. p. 23 y Jiménez, A., Pina, F., 2003: *Levantamiento y medición de edificios. Tradición y Futuro*. Universidad de Sevilla, Sevilla, esp. p. 49

40. Carta del Levantamiento Arquitectónico. Premisa "Requisito previo de cualquier intervención en el patrimonio cultural debe ser el conocimiento del bien arquitectónico y ambiental, considerado en su globalidad y en su completa articulación, como conciencia de que su ser es el resultado de una estratificación a lo largo del tiempo, de sucesivas intervenciones, realizadas muchas veces con criterios y técnicas constructivas diferentes. Por otra parte en edificios de una fuerte historicidad, cada parte está siempre ligada, por razones estructurales, técnicas y funcionales a la totalidad. Se trata, en otras palabras, de reconstruir a través de una compleja acción de investigación (planimétrica, histórica crítica, archivista, bibliográfica, técnica y tecnológica), los criterios, los procedimientos y los ritmos con los que se ha venido constituyendo el organismo a lo largo del tiempo, (...) se debe entender por levantamiento arquitectónico... el conjunto de operaciones de medidas y análisis necesarios para comprender y entender el bien arquitectónico en su configuración completa, referida incluso al contexto urbano y territorial, en sus características estructurales y constructivas, así como en las formales y funcionales..."

Bibliografía

- Almagro, A., Cámara, L. y Latorre, P. 1999: *La restauración de la Iglesia de Sta. Urcia del Trampal, en Caballero y Sáez*, 231-321

- Álvarez, I., Lopetegui, A., Mesanza, A., Rodríguez, A., Valle, J. M., Vicente, I., 2003: *Diferentes propuestas para la representación geométrica de edificios históricos*, en *Arqueología de la Arquitectura* 2, Vitoria, 9-13

- Cahaller, I., y Latorre, P. 1993: *El parque arqueológico del Monasterio Visigodo de Santa María de Melque (Toledo) en Seminario de Parques Arqueológicos*, Madrid, 45-81

- Cámara, L., 2002: *Three-dimensional analytical model obtained by photogrammetry. Traditional and Modern Methods*, XVIII Int. Symposium CIPA 2001, Berlin, 125-132

- Latorre, P., Cámara, L., Caballero, L., Cabrera, J.M. y Roibés, G. 1991: *Proyecto de Restauración de la Torre de Hércules y su entorno en Ciudad y Torre*. Roma y la Ilustración en *La Coruña, La Coruña*, 129-142

- Latorre, P., Caballero, L., 1995: *Análisis arqueológico de los paramentos del foro romano llamado Torre de Hércules. La Coruña-España en Leer el documento construido*, *Informes de la Construcción*, vol. 46, n 435, Madrid, 5-18

- Latorre, P., Cámara, L., 1997: *El Restauo di S. María di Melque a Toledo en Dossier: Il restauro in Spagna*, Terra, 1-1997, Milán, 21-35

- Marino, L., 1981: *Il progetto di restauro, ricerche e studi preliminari*, Firenze

- Midant, J-P. 2001: *Au Moyen Âge avec Viollet-le-Duc*, Paris

- Torres Balbás, L. 1996: *La enseñanza de la historia de la arquitectura*, (Arquitectura, febrero de 1922) en *Sobre monumentos y otros escritos*, colección textos dispersos, COAM, Madrid, 139-143

VVAA, 2000: *Carta del levantamiento arquitectónico*, Barcelona