

COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS  
DE ANDALUCIA OCCIDENTAL



**REHABILITACION Y CIUDAD HISTORICA**  
I CURSO DE REHABILITACION DEL C.O.A.A.O.

Antonio Almagro Gorbea

*Los estudios previos en la  
Restauración y Rehabilitación  
de edificios:  
Planimetría y Fotogrametría*

14

Antes de iniciar el desarrollo de este tema quisiera hacer una breve reflexión sobre la necesidad del análisis previo del edificio antes de acometer la realización del proyecto de restauración o de rehabilitación. Ante todo quiero expresar mi convencimiento de lo imprescindible que considero la realización de una completa y minuciosa toma de datos como base para la realización de un adecuado proyecto.

Esta fase previa tiene una gran importancia porque toda intervención sobre el patrimonio arquitectónico, que es una parte del patrimonio histórico, requiere un profundo conocimiento de la realidad de la obra arquitectónica sobre la que se va a intervenir. De esta fase, quizá lo más importante sea la obtención de los documentos gráficos que nos definen la forma geométrica del edificio y que nos vienen además condicionados por exigencias legales, como las que imponen la Ley de Contratos del Estado o la propia normativa colegial sobre presentación de proyectos, que exige que los planos sirvan para la adecuada definición de la intervención, así como para la obtención de las mediciones de las distintas unidades de obra a realizar.

Pero desde mi punto de vista, considero que estos estudios previos, lo que nos tienen que permitir es el alcanzar un conocimiento en profundidad del edificio, tanto de su realidad física y estructural, como de la totalidad del hecho arquitectónico. Yo hago siempre la reflexión de que el hecho de dibujar los planos de un edificio, después de haberlo medido, es seguramente el método que nos permite una mayor aproximación a ese otro hecho, por supuesto irreplicable, que fue la concepción primigenia de la obra arquitectónica. Hecho como digo irreplicable pues se produjo en un momento determinado, por un autor determinado y en unas circunstancias precisas, que es imposible que vuelvan a presentarse. Pero esta actividad de dibujar sobre el papel el edificio, vuelvo a decir que puede considerarse una aproximación a la proyección original. E indudablemente es el método de análisis más

completo que podemos utilizar para conocer un edificio, al menos en su realidad geométrica. Yo por ello recomiendo a quien vaya a realizar un proyecto de restauración o rehabilitación, que realice directamente la toma de medidas y el levantamiento planimétrico, sobre todo en las primeras intervenciones de este tipo que tenga ocasión de realizar. En todo caso, si utiliza a otras personas como ayudantes, debe seguir el proceso detenidamente. Nunca se debe encargar el trabajo a otro y recibirlo ya realizado sin un seguimiento continuo.

Estos estudios previos tienen a mi entender una serie de fases:

En primer lugar, la inspección ocular, que debe permitir tanto una visión y conocimiento de primera mano sobre la realidad física y espacial del edificio como la apreciación de detalles que pueden pasar desapercibidos al no especialista, pero que proporcionan información muy importante. Por ejemplo debe analizarse la superposición de estructuras para conocer la cronología relativa de cada fase de construcción del edificio, la observación de lesiones o simples fisuras, etc. que nos pueden dar claves importantes para el conocimiento y la interpretación de la construcción.

Una segunda fase comprendería el análisis geométrico, es decir, la medición y levantamiento planimétrico, que va a ser el tema sobre el que insistiremos de manera primordial.

Pero estos estudios previos no se pueden sólo circunscribir a un mero levantamiento planimétrico. Deben entrar en un análisis más detallado y profundo que nos permita conocer el hecho arquitectónico en toda su extensión y en todas sus circunstancias. Aquí incluiría yo lo que podríamos llamar el análisis arqueológico del edificio. Y quiero resaltar que la arqueología no se reduce al estudio de lo que está debajo de la cota 0 ó nivel de suelo, sino que afecta a toda la realidad material de lo construido. Es esta una fase que muchas veces se omite, unas veces por falta de medios para realizarla adecuadamente, otras veces por desconocimiento de su importancia por parte del autor de la obra y en otras ocasiones se hace mal por no conocerse las técnicas adecuadas o no buscar la colaboración de especialistas que las conozcan.

Naturalmente conviene relativizar la importancia de este análisis en función de las características del edificio. No es lo mismo actuar sobre unas viviendas del siglo XIX en un área de ensanche, que en un monumento de primer orden dentro de un conjunto histórico con una fuerte superposición de épocas o periodos de ocupación. Cuanto mayor sea el valor como documento histórico que el edificio posea, tanto más importante ha de ser esta fase.

Este proceso de excavación es fundamental porque nos puede ayudar a comprender en toda su complejidad el monumento, sobre todo en aquellos casos en que este hubiera tenido una historia llena de vicisitudes que hayan influido en su evolución y transformación. E insisto que este proceso es importante, porque en toda intervención sobre el patrimonio arquitectónico, bien se trate de una actuación de restauración para devolver el edificio a un estado digno y acorde con su primitivo ser, como de rehabilitación, cuando se intente dar un uso nuevamente al edificio, es funda-

mental, si queremos que el resultado final sea el adecuado, que conozcamos cuales fueron las circunstancias en que éste fué construido, para que se construyó, cómo se hizo y por qué. Y no sólo en sus inicios, sino cuantas transformaciones sufrió. Porque de este conocimiento podemos sacar pautas y criterios de intervención. Podremos analizar mejor los usos que le pueden ser acordes y aquellos que lo pueden alterar de forma negativa. Y podremos saber como actuaron en otras épocas ante problemas semejantes al nuestro, sirviéndonos en algunos casos de ejemplo y en otros de advertencia de lo que no se debe hacer. Cuanto mejor conozcamos todo el proceso generador del hecho arquitectónico sobre el que vamos a intervenir, tendremos mejores y más válidos elementos para establecer los criterios de nuestra intervención.

Y vuelvo una vez más a insistir sobre la importancia de este análisis recordando que nuestra intervención sobre el patrimonio arquitectónico, lo es sobre una parte del patrimonio histórico y que por tanto tiene unos valores trascendentes para la sociedad que es fundamental conservar y sobre todo transmitir. Y transmitir no tanto en el estado en que han llegado hasta nosotros, que en muchos casos vamos a vernos obligados a transformar, sino fundamentalmente transmitir el mensaje que a nosotros ha llegado a través del edificio. Es decir, los datos que el edificio nos aporta y que en el proceso de restauración o de rehabilitación vamos a tener que destruir o alterar, es importante que no nos pasen desapercibidos para que nosotros los podamos transmitir. Salvando siempre la relativa importancia que el edificio tenga como documento histórico.

En la mayor parte de los casos será conveniente acudir a la colaboración con un arqueólogo, sobre todo cuando se trate de intervenir en el subsuelo. Pero la interpretación global habrá de hacerla una persona con capacidad de síntesis y que considere no solo la visión especialista del arqueólogo, sino los datos históricos, el análisis arquitectónico, espacial y estilístico, etc. Por ello es conveniente que quién dirija una intervención de restauración o rehabilitación, sobre todo si es en un monumento de alto valor histórico, conozca todas estas técnicas y posea una sólida base de conocimientos históricos, tanto de la sociedad como de la arquitectura.

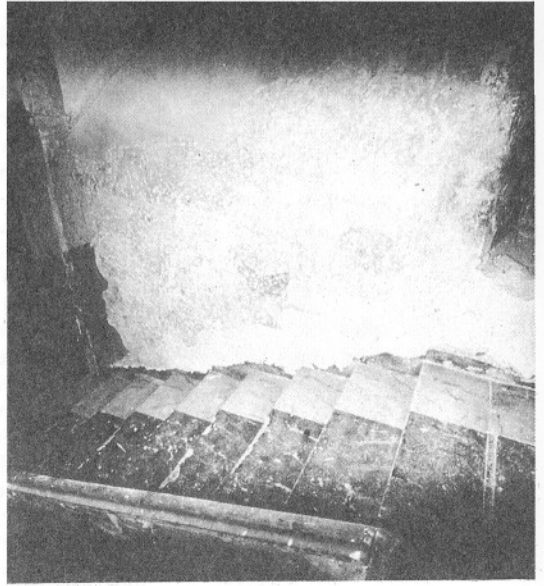
Por último, estos estudios previos deben conllevar un análisis físico de la construcción que nos permita conocer la capacidad de su estructura para poder soportar los nuevos usos que se pretenden introducir.

No resulta fácil ilustrar de forma adecuada todo este proceso, ni mucho menos pretender transmitir una experiencia que sólo se logra con el contacto directo con los problemas. Es la experiencia la que te da pautas de actuación en estos aspectos. No se puede en tan breve espacio sentar normas o dar criterios de cómo realizar el análisis arqueológico de un edificio. Sólo un contacto directo con casos prácticos y con la realidad material de los edificios puede llegar a permitirnos saber cómo actuar en cada caso.

Para ilustrar de todos modos lo hasta ahora dicho sobre la importancia de estos análisis previos quisiera presentar dos experien-



1



2

*Trinchera abierta junto a la puerta de Santa María de Iguacel (Huesca).  
Replanteo primitivo de la escalera de la Casa de la Comunidad de Teruel, aparecido bajo el enlucido.*

cias. Una de ellas es la Ermita de Santa María de Iguacel, en el Pirineo Oscense, en el que los aluviones de un torrente cercano enterraron la iglesia en más de un metro de su altura. Para asegurarnos de que todo el relleno era procedente de los arrastres del arroyo y no tenía interés arqueológico, procedimos a abrir con el debido cuidado y por medios manuales, dos zanjas en dos lugares distintos que nos permitieron además conocer cual era el nivel primitivo del suelo exterior de la iglesia. Comprobados estos extremos pudimos proceder a rebajar estos arrastres con medios mecánicos con la seguridad de no destruir ningún vestigio de la historia del monumento (fig. 1).

El otro caso corresponde al monumento conocido como la Casa de la Comunidad en Teruel, rehabilitado para albergar el Museo Provincial. La escalera de este edificio había sufrido una transformación en su trazado sin que pudiéramos vislumbrar a primera vista cual había sido la solución primitiva. Una cuidadosa eliminación de los enlucidos nos permitió encontrar no sólo un gran arco que comunicaba el hueco de la escalera con el zaguán, sino incluso el replanteo original de los peldaños primitivos hecho con un carbón en el siglo XVI (fig. 2).

Puede decirse que los edificios conservan casi siempre los datos necesarios para poderlos interpretar. Lo que hace falta es saber encontrar y leer esos datos antes de que los destruyamos.

## PLANIMETRIA

Aun cuando vamos a insistir de modo primordial en las técnicas de fotogrametría, por ser las menos divulgadas, no quiero por ello dejar de hacer una breve referencia a las técnicas tradicionales de levantamiento planimétrico, porque a pesar de que pueda pensarse que esa técnica es la panacea para este tipo de trabajo, ya veremos que no para todos los casos es así, y que los sistemas tradicionales siguen siendo apropiados y necesarios.

El objetivo de todo levantamiento planimétrico es obtener una documentación que nos de la realidad geométrica del edificio, pero además nos debe servir para obtener un buen conocimiento del mismo y un aprendizaje de las vicisitudes por las que pasó en su génesis.

Los sistemas de medición tradicionales los podemos resumir en los siguientes:

En primer lugar la cinta métrica, que permite la aplicación del método de trilateración o medición de los lados de triángulos, partiendo de la base de que el triángulo es la única figura geométrica indeformable angularmente. Si conocemos los tres lados de un triángulo, su solución es unívoca; no existe más que una sola solución correcta. Generalmente con este sistema se resuelven todos los problemas sencillos de medición de plantas.

La cinta métrica es el método también utilizado para la medición de alturas, aunque aquí el problema de la accesibilidad a los puntos que se quiere medir plantea fuertes limitaciones. En estos casos, la inventiva, la práctica o el ingenio tendrán que aplicarse

para soslayar estos inconvenientes. Pértigas, cañas de pescar a las que se ata la cinta, globos ligeros, etc. son algunos de los artilugios que pueden utilizarse.

Pero me gustaría recordar la existencia de un instrumento, que desgraciadamente por las lagunas de nuestra formación desconocemos en su manejo y que resulta valiosísimo para este tipo de trabajos: es el taquímetro.

El taquímetro sirve tanto para levantamiento de plantas y para el cálculo de alturas, como para la determinación de la posición en el espacio de puntos a los que resulta imposible llegar con tal de que se puedan observar desde dos posiciones fácilmente medibles entre sí. Los cálculos trigonométricos que deben acompañar a las mediciones angulares realizadas con el taquímetro son hoy sencillos de operar con cualquier ordenador, y las precisiones que se obtienen son en general mayores que las tomadas con cinta, sobre todo en cuanto el edificio es grande. Además, con este método se trabaja en coordenadas espaciales X, Y y Z, con lo que se tienen siempre a mano datos del volumen y del espacio en lugar de datos puramente planimétricos.

Sobre todo en edificios de grandes dimensiones o de planta muy complicada y con escasas comunicaciones entre exterior e interior y en los que por tanto, al utilizar la cinta métrica en mediciones cortas y sucesivas vamos forzosamente a acumular grandes errores, es muy conveniente acudir a métodos taquimétricos. Estableciendo una o varias poligonales cuyos vértices medidos con gran precisión nos sirvan como puntos de referencia a partir de los cuales podamos tomar medidas con cinta, tendremos siempre un control de los errores generales que quedarán limitados a los errores de la poligonal.

Los vértices de la poligonal nos pueden servir además como estaciones a partir de las cuales y por intersección de visuales, podamos calcular la posición espacial de puntos inaccesibles, o como simples estaciones desde las que midiendo coordenadas polares (ángulo y distancia) de puntos accesibles, podamos calcular las coordenadas rectangulares por simple transformación de las polares. Si además del taquímetro podemos contar con un distanciómetro, la medición será más rápida y precisa.

En el caso de que no dispongamos de un aparato de este tipo o no sepamos manejarlo, puede ser conveniente encargar a un topógrafo la medición de una o varias poligonales cuyos vértices se dejen convenientemente marcados con clavos o señales y las coordenadas de algunos puntos, sobre todo los inaccesibles. Con esta red general podremos, ya con la cinta, continuar la medición de todo el resto.

El trabajar con coordenadas cartesianas nos puede permitir incluso el acudir a un coordinatógrafo o a un plotter para que nos dibuje con gran rapidez y precisión todos esos puntos sobre el papel.

## **FOTOGRAMETRIA**

La fotogrametría es una técnica de medición, que como su propio nombre indica se basa en el empleo de fotografías. A pesar de

lo que aparentemente pueda parecer, es una técnica rigurosa, pues se rige por principios geométricos y matemáticos. Se apoya en el hecho de que la imagen fotográfica es una perspectiva generada en un sistema de proyección central, y por tanto siguiendo leyes matemáticas.

Generalmente, una sola perspectiva de un objeto no nos permite medirlo, sobre todo tridimensionalmente. Pero si utilizamos dos perspectivas, o dos fotografías tomadas desde dos puntos distintos, tendremos datos suficientes para poder determinar la posición espacial de todos aquellos puntos que sean visibles en las dos imágenes. Todo ello apoyándonos en las leyes geométricas y por tanto matemáticas de acuerdo con las cuales se generan las perspectivas, como ya hemos dicho.

Haciendo un poco de historia, la fotogrametría es una técnica relativamente antigua, más de lo que mucha gente piensa. De hecho, como medio para realizar levantamientos ha cumplido más de un siglo pues ya en 1858 se utilizaron pares de fotografías para realizar el levantamiento de la catedral de Wetzlar.

Pero antes de esto, hay un largo camino de aproximación hacia el método que arranca en el Renacimiento, cuando diversos pintores y tratadistas, pero sobre todo Leonardo da Vinci y Alberto Durero, investigan de forma sistemática sobre las leyes de la Perspectiva. Habrá que esperar sin embargo hasta el siglo XIX para que un oficial francés de Ingenieros, el capitán Aimé Laussedat, empiece a utilizar perspectivas obtenidas con una cámara clara, invención del británico Caristie, para medir edificios (fig. 3). Para ello se basó en ideas ya utilizadas por marinos y cartógrafos del siglo anterior en los levantamientos de cartas marinas realizadas desde los barcos sin bajar a tierra. De manera especial influyó en él el tratado escrito por el también francés Beautemps-Beaupré (1766-1854).

Laussedat, que realizó también experiencias utilizando fotografías, no alcanzó el éxito en la difusión de su método como el logrado por el alemán Albrecht Meydenbauer, quien en 1885 creó el primer servicio de fotogrametría para la documentación de los monumentos de Prusia, servicio que siguió trabajando hasta la segunda Guerra Mundial. Aún hoy se conserva la mayor parte del archivo de fotografías de este servicio entre las que se encuentran las cerca de 12.000 que realizó el propio Meydenbauer sobre placas de vidrio de 40 x 40 cms. y cuya calidad aún nos sorprende hoy.

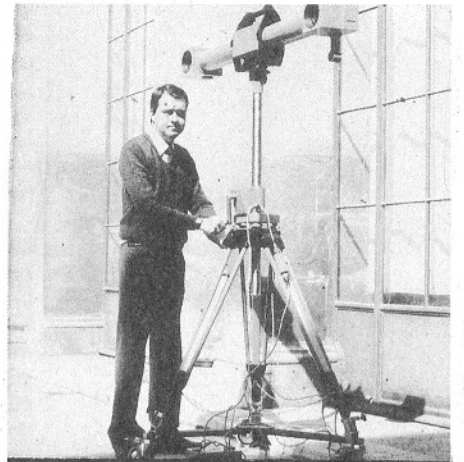
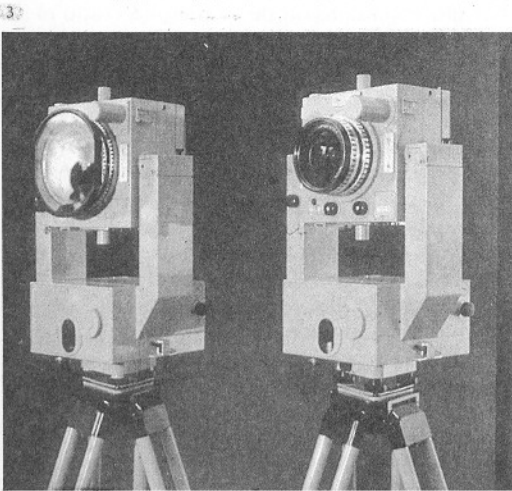
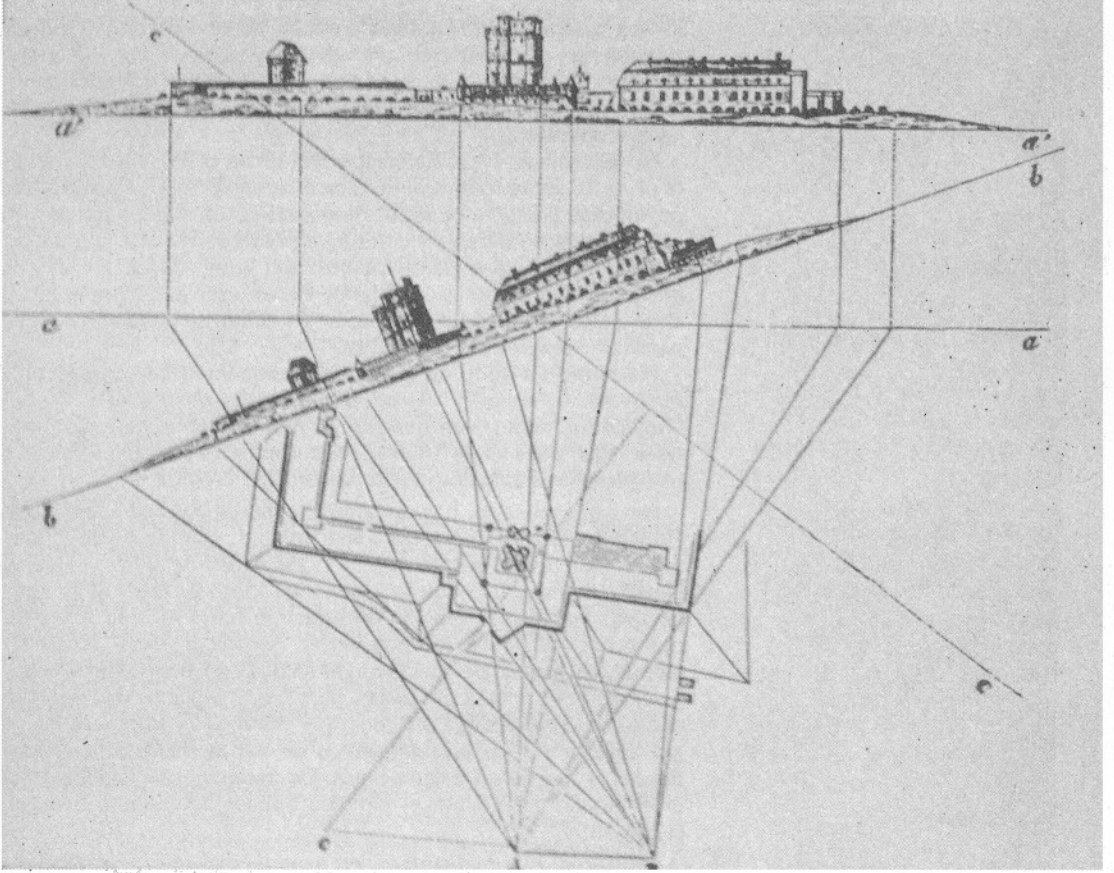
Tanto Laussedat como Meydenbauer utilizaban, para obtener las medidas a partir de las fotos, el llamado método de las intersecciones, que es un método gráfico en el que es preciso conocer la posición desde la que se ha tomado cada fotografía y el ángulo horizontal del eje óptico de una cámara respecto de la otra. Este método, muy laborioso y que exige trabajar con fotografías de gran formato ha seguido empleándose hasta prácticamente la segunda Guerra Mundial, siempre en competencia con el método de la estérefotogrametría, que es el hoy universalmente utilizado. La ventaja del método de las intersecciones es que no precisa

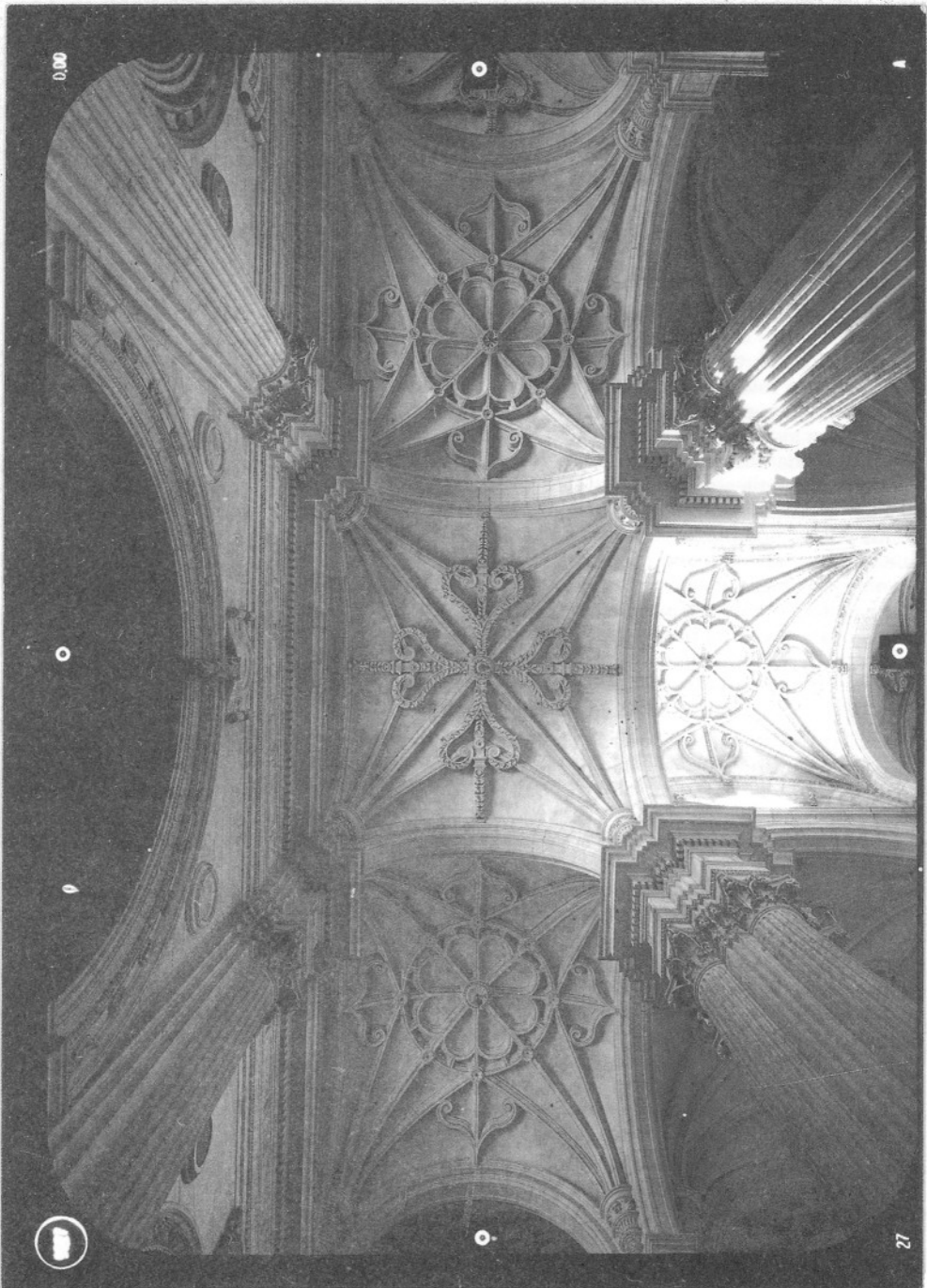


*Levantamiento del castillo de Vincennes por Laussedat.*

*Cámaras métricas UMK de Carl Zeiss Jena (focales de 65 y 100 mm).*

*Bicámara SMK de Carl Zeiss Jena (base 1200 mm y focal 56 mm).*





de costosos apartados de restitución, pues todo el proceso se hace gráficamente.

El método de la estereofotogrametría utiliza pares de fotografías obtenidas con ejes sensiblemente paralelos de tal manera que sea posible observar las fotos estereoscópicamente. La observación estereoscópica es un fenómeno connatural al hombre que le permite apreciar el relieve de las cosas merced a la observación de imágenes distintas a través de cada uno de los ojos. Si por cada ojo observamos una imagen obtenida con una separación respecto de la del otro mayor que la separación interpupilar, la sensación de relieve se acrecienta y alcanza a distancias mayores que las de la visión natural.

Este fenómeno fue utilizado por Stolze para, colocando una pequeña marca sobre cada imagen, poder identificar puntos homólogos en cada fotografía, gracias a que esas marcas se funden en una sola dentro de la visión estereoscópica. Esa marca aparece moviéndose tridimensionalmente merced a simples desplazamientos planos de cada una de las que se han situado sobre las imágenes.

Este descubrimiento resolvía uno de los problemas que ya presentaba el sistema de las intersecciones, que era la identificación de los puntos homólogos, es decir de los puntos de cada imagen que corresponden a un mismo punto del objeto fotografiado.

Sobre esta base, Pulfrich construyó en 1901 el primer estereocomparador, primer aparato de precisión para la medición fotogramétrica y que es la base de todos los actuales aparatos de restitución. El estereocomparador permite la medición de coordenadas planas, en el sistema de la imagen, de los puntos homólogos. Conocidas estas coordenadas, por simple cálculo analítico aplicando las fórmulas matemáticas de formación de las imágenes perspectivas, se obtienen las coordenadas espaciales de los puntos medidos. Este sistema era más preciso que el de las intersecciones pero igualmente laborioso.

En 1908, el oficial de ingenieros austriaco Von Orel construye el primer estereoautógrafo, es decir, el primer aparato de restitución que permitía el dibujo continuo y automático. En él se aplican tanto la visión estereoscópica a través de un estereocomparador para identificar los puntos homólogos, como el sistema de las intersecciones que en lugar de hacerse gráficamente, se hace por medio de barras mecánicas que simulan los rayos ópticos y que se mueven en unión de las marcas que se desplazan sobre cada fotografía. De esta forma, el operador del instrumento observa el objeto en relieve y posando la marca flotante sobre un punto de dicho objeto consigue obtener sobre una mesa de dibujo la posición de ese punto a escala y en proyección ortogonal sobre uno de los planos de referencia del sistema de coordenadas adoptado.

El desarrollo futuro de la fotogrametría seguirá por este camino con la utilización de los aparatos de restitución denominados analógicos, pues simulan la formación de las imágenes y por un proceso inverso determinan la posición espacial de los puntos fotografiados. Esta simulación puede hacerse bien por procedimientos mecánicos o también por procedimientos ópticos o mixtos.

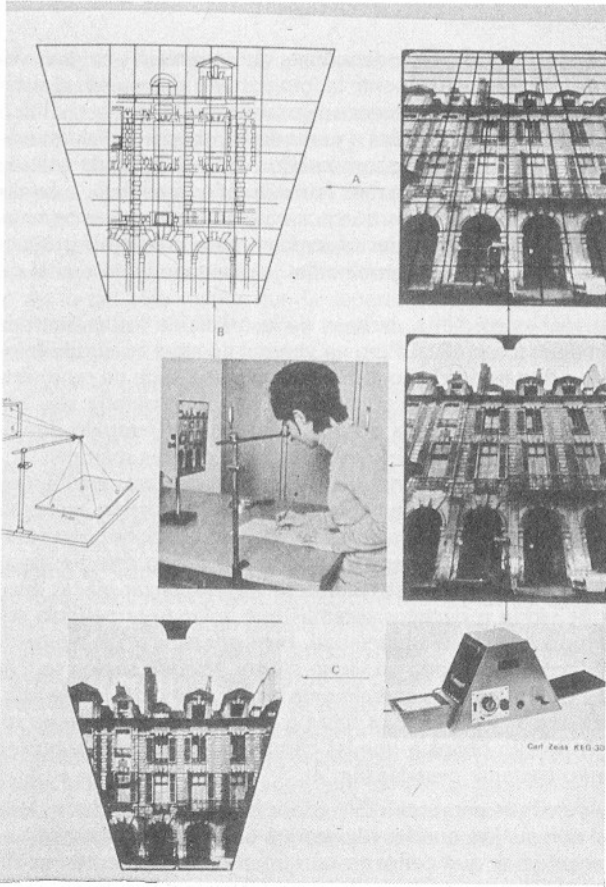
Con la aparición de los ordenadores que permiten una gran velocidad de cálculo, actualmente la fotogrametría ha vuelto al sistema ya utilizado con los estereocomparadores: el cálculo analítico de las coordenadas espaciales a partir de las coordenadas de imagen medidas con un estereocomparador. La velocidad de cálculo que brinda el ordenador permite la restitución inmediata, además de las múltiples aplicaciones que nos ofrecen las transformaciones analíticas de las coordenadas obtenidas, para conseguir proyecciones sobre planos predeterminados, almacenamiento digital de las restituciones, etc.

Como ya hemos dicho, la base de la medición fotogramétrica es una imagen fotográfica. Pero en general no sirve cualquier fotografía, sino que es preciso que esta cumpla una serie de requisitos que están en relación con el hecho de que la fotografía sea una perspectiva lo más rigurosa posible. Esto exige el empleo de cámaras fotográficas especiales denominadas cámaras métricas.

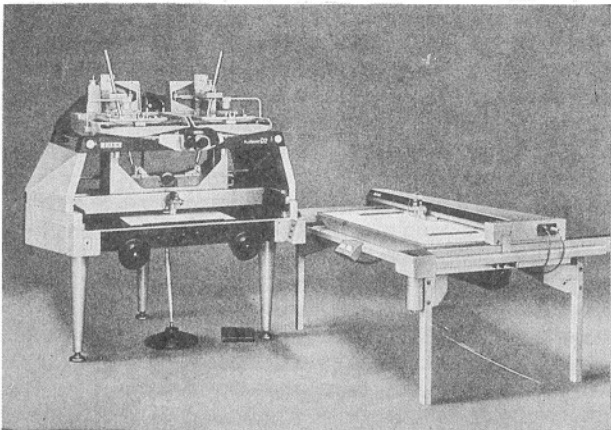
Las características más importantes de estas cámaras estriban en poseer una óptica prácticamente exenta de distorsión (generalmente menor de unas pocas micras), con su eje óptico rigurosamente perpendicular al plano de la imagen y con éste rigurosamente plano. Para lograr esto último se suelen utilizar placas fotográficas de vidrio o distintos sistemas que aplanan la película sobre una base de absoluta planeidad, bien por aspiración neumática, o por prensado contra un vidrio plano. Además suelen ser cámaras de gran formato, generalmente de 24 x 24 cms. las de fotogrametría aérea, y de 13 x 18 hasta 6 x 9 las de fotogrametría terrestre. Todo ello obliga a que las cámaras sean de gran robustez y por tanto bastante pesadas (fig. 4).

Pero además es imprescindible conocer una serie de datos de la cámara, que suelen quedar registrados en la imagen fotográfica. Primeramente hay que conocer, con precisión de la centésima de milímetro, la distancia principal del objetivo, es decir, la distancia entre el centro óptico que es el centro de proyección, y el plano de la imagen. Por otro lado, hay que conocer la posición del punto principal en la imagen, es decir, del punto en que el eje óptico corta al plano de esta. El primer dato suele quedar marcado en las fotografías en uno de los ángulos o bordes. El segundo queda determinado por cuatro marcas fiduciales en los borde o ángulos, que son los extremos de dos rectas teóricas cuya intersección determina dicho punto (fig. 5).

Un tipo de cámara muy utilizado en fotogrametría terrestre y que incluso se ha asociado siempre como cámara fotogramétrica tipo, es la bicámara o cámara doble (fig. 6). En realidad se trata de dos cámaras unidas rígidamente a una barra cuya longitud se conoce con precisión y en la que se garantiza el paralelismo de los ejes ópticos de ambas cámaras y la perpendicularidad de estos con la línea que une los centros ópticos. De esta manera se logran fotografías en los que se denomina caso normal, que facilita mucho la orientación de las fotografías en el restituidor, ya que se conocen los parámetros de orientación relativa de una cámara respecto de la otra, con los cuales es posible restituir el objeto sin



7



8

*Sistema de restitución de imágenes únicas.  
Restituidor analógico Planicart.*

más datos, salvo que queramos referirlo a un sistema de coordenadas externo, en cuyo caso necesitaremos algún dato adicional. A pesar de estas ventajas estos instrumentos tienen serias limitaciones de uso merced a tener la base, es decir, la separación entre las dos cámaras, fija. Ello hace que no puedan utilizarse para fotografiar objetos situados a menos de 5 metros ni a más de 15, suponiendo una bicámara de 1.200 mm. de base. De todos modos, merced a la utilización cada vez mayor de los instrumentos de restitución analíticos, su uso ha decaído mucho hasta el punto de que ya no se fabrican más.

Pasando ahora a las formas de explotación de estas fotografías métricas, la primera utilización posible es la de fotografías únicas, que servirán como documentos de medición siempre que se den una serie de factores. En primer lugar, que el objeto que queramos medir sea plano o sensiblemente plano. En el caso de la arquitectura, podremos utilizar esta posibilidad en el caso de fachadas planas en las que los elementos volados, como cornisas o balcones tengan poca entidad. En este caso, la fotografía habrá de estar tomada con eje óptico horizontal y con el plano de imagen paralelo al plano de la fachada. Pequeñas desviaciones de estas condiciones pueden corregirse utilizando ampliadoras-rectificadoras y puntos de control previamente medidos en el edificio. Este sistema es válido y ventajoso para el levantamiento de fachadas de calles a escalas no muy grandes, en las que la distorsión de escala de los elementos no situados en el plano puesto a escala no reviste ninguna transcendencia. Para este tipo de aplicaciones puede utilizarse una cámara clara para la obtención de dibujos, aunque la forma más corriente es emplear una ampliadora y obtener fotoplanos a escala. Para la realización de estos fotoplanos de un modo riguroso se deben utilizar rectificadores automáticos que nos permitan corregir los pequeños ángulos de desviación que existan entre el plano de fachada y el plano sobre el que se obtuvo la fotografía. Estos aparatos de precisión tienen en cuenta de forma automática las tres condiciones (perspectiva, de Newton y de Scheimpflug) que deben cumplirse al variar este paralelismo. Caso de utilizar una ampliadora normal, pueden llegar a cometerse grandes errores si no se tienen en cuenta estas condiciones que son difíciles, e incluso a veces imposible, de introducir manualmente. También puede acudir al empleo de las cuadrículas homólogas superpuestas, con puntos de fuga en la fotografía y ortogonales en el dibujo, para cuyo trazado deberemos tener en cuenta las leyes de la perspectiva (fig. 7).

Pero el procedimiento más extendido de restitución fotogramétrica se basa en el empleo de pares de fotografías estereoscópicas con aparatos de restitución analógicos o analíticos (fig. 8).

Estos aparatos permiten la medición de las coordenadas espaciales de los puntos que pueden observarse de las dos imágenes, merced a la identificación de puntos homólogos por medio de la visión estereoscópica y de la marca métrica flotante, de los que ya hemos hablado. En el caso de los aparatos analógicos, la determinación de las coordenadas espaciales se realiza por medio de la

**(9) Formules fondamentales de la photogrammétrie**

De la figure nous déduisons les rapports suivants :

$$\frac{X}{x'} = \frac{Y}{C_k} = \frac{bX}{x''}$$

soit  $\frac{X \cdot (b - x)}{x' \cdot x''} = \frac{Y}{C_k}$  ou  $x' \cdot x'' = P_x$

soit  $Y = C_k \cdot \frac{b}{P_x}$

et  $X = x' \cdot \frac{Y}{C_k}$

De même  $\frac{Z}{z'} = \frac{Y}{C_k}$

et  $Z = z' \cdot \frac{Y}{C_k}$

Exemple : calcul du point 1

$$x' = + 2.9 \quad \text{et} \quad x'' = - 1.5 \quad P_x = + 4.4$$

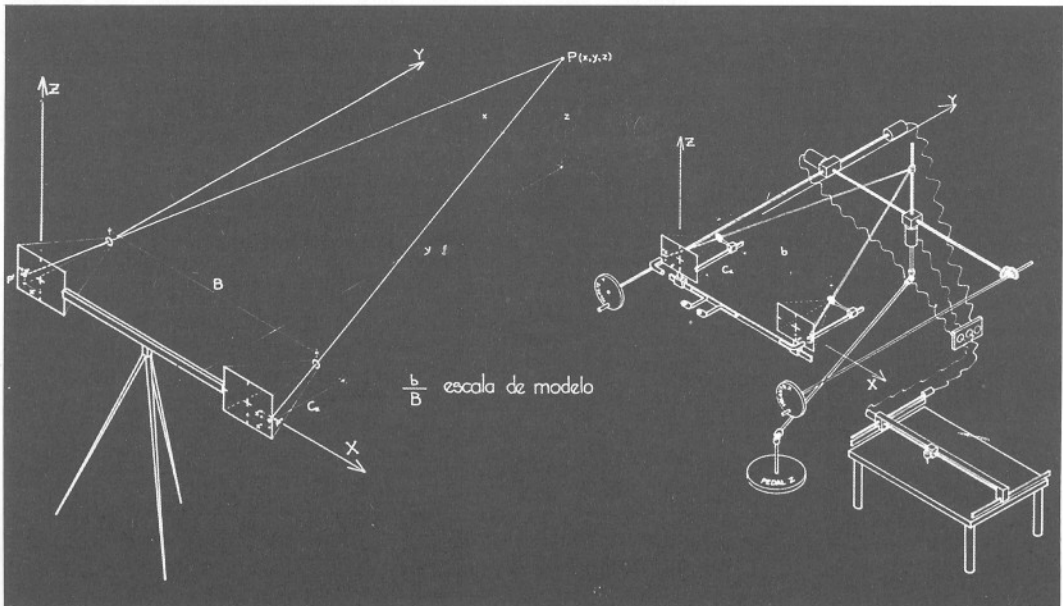
$$z' = + 19.9 \quad z'' = + 19.9$$

$$Y = 63.81 \cdot \frac{1200}{4.4} = 17402 \text{ mm} = 17 \text{ m.40}$$

$$X = 2.9 \cdot \frac{17402}{63.81} = 791 = 0 \text{ m.79}$$

$$Z = 19.9 \cdot \frac{17402}{63.81} = 5427 = 5 \text{ m.43}$$

10



9

medición de un modelo virtual a escala, cuyos puntos se determinan por la intersección de dos barras que reproducen los rayos homólogos que produjeron cada una de las dos imágenes (fig. 9). Previamente, las fotografías deben orientarse de la misma forma como se obtuvieron por medio de un proceso, generalmente empírico, bastante laborioso.

En los aparatos analíticos, como también dijimos, las coordenadas espaciales se calculan a partir de las coordenadas de los puntos homólogos en cada una de las fotos y de los datos de orientación de las cámaras, que a su vez se calculan a partir de las coordenadas espaciales conocidas de una serie de puntos y de las coordenadas de imagen de esos mismos puntos en las fotos (fig. 10).

Conocidas las coordenadas espaciales de un punto, su representación a escala en una proyección sobre un plano de referencia se realiza por medio de un plotter o mesa trazante. Como la medición de puntos sucesivos se hace automáticamente, el dibujo de líneas puede ser continuo y con precisión homogénea, es decir, sin tener que recurrir a interpolaciones. En los aparatos analógicos existen una serie de limitaciones que conviene conocer, y que básicamente se refieren a la imposibilidad de proyectar sobre planos que se encuentren girados más de  $\pm 5^\circ$  respecto al plano de la fotografía, o sus ortogonales. También pueden existir limitaciones, dependiendo de los modelos, respecto a las escalas de restitución y a las focales de las cámaras. Todas estas limitaciones, que vienen impuestas por la propia construcción de los aparatos, no existen en los analíticos, pues por medio del adecuado software, las aplicaciones posibles resultan casi ilimitadas.

En la práctica, esta medición se realiza en la mayor parte de los aparatos de restitución de la siguiente forma: El operador se sienta ante unos binoculares, a través de los cuales observa el objeto tridimensionalmente junto con la marca métrica flotante, que hace moverse en las tres direcciones del espacio mediante dos manivelas y un volante accionado con un pie. Con el otro pie actúa sobre un pedal con el que marca el comienzo y el final de las líneas que va restituyendo. Al ir desplazando la marca métrica sobre el objeto «tocándolo», el lápiz sobre la mesa trazadora va realizando el mismo recorrido proyectado a escala sobre uno de los planos de referencia. En el momento que quiera dibujar una línea, coloca la marca flotante en un extremo, acciona el pedal para comenzar a dibujar, y con las dos manivelas y el volante de pie va recorriendo tridimensionalmente la línea a dibujar. Al llegar al final vuelve a accionar el pedal para terminar el dibujo. En la mesa queda dibujada la proyección a escala.

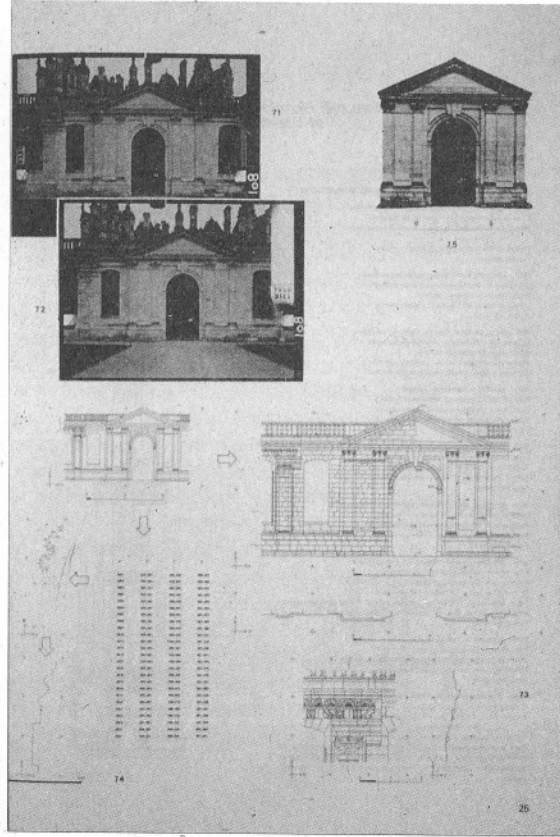
En cualquier momento, sobre contadores adecuados, el operador puede obtener las coordenadas X, Y y Z del punto sobre el que tiene colocado la marca flotante.

Quisiera aquí volver a insistir en que la fotogrametría no es más que una técnica de medición y que todos estos aparatos no son sino meros instrumentos de medida, sin duda más sofisticados y más precisos que una cinta métrica, pero al fin y al cabo meros instrumentos. La calidad del resultado final del trabajo, sobre todo

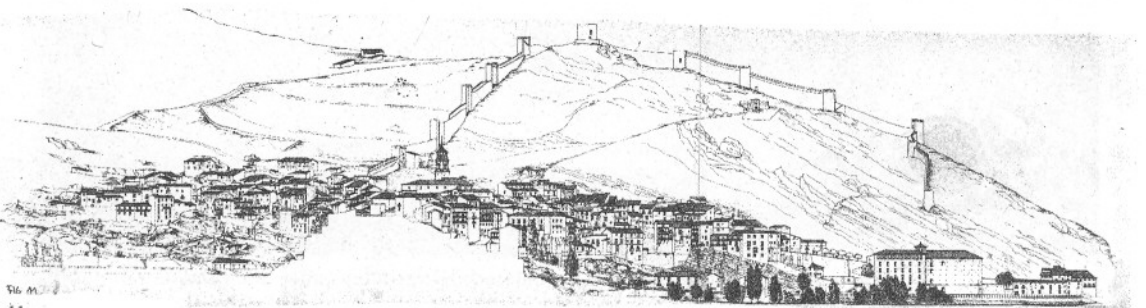
*Bases de cálculo de las coordenadas espaciales en función de las coordenadas de imagen para un caso «normal».*

*Principio de funcionamiento de un restituidor analógico.*

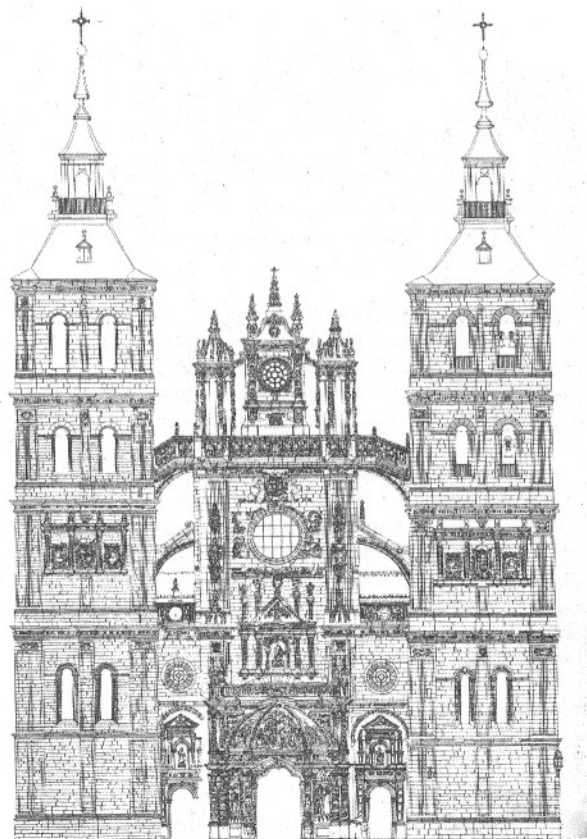




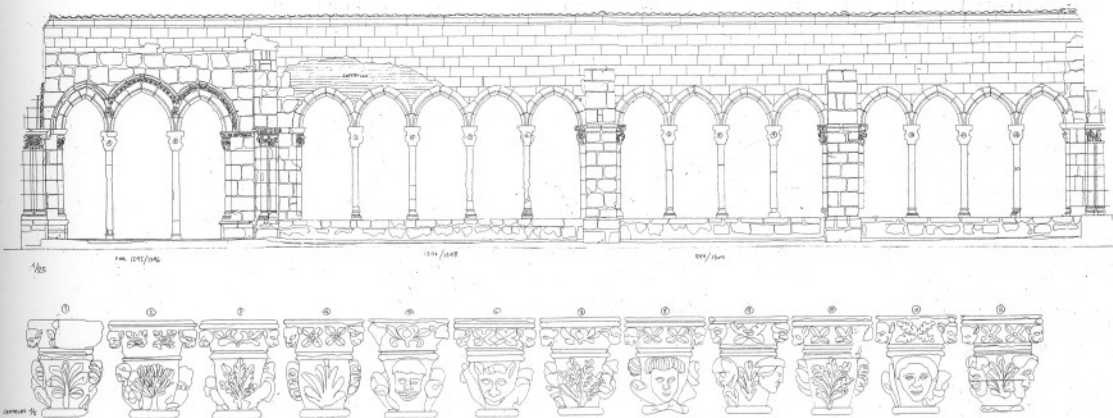
12



11



13



14

PLAN DE LA CATEDRAL DE ASTORGA (1870)  
DISEÑADO POR  
D. J. GARCÍA DE PASTOR  
D. J. GARCÍA DE PASTOR  
D. J. GARCÍA DE PASTOR  
D. J. GARCÍA DE PASTOR

en cuanto a expresión gráfica, va a depender por tanto de quién maneje el instrumento. Y en arquitectura, el proceso de selección y abstracción que supone pasar de la realidad de la obra arquitectónica a su representación en un plano requiere de una actividad de tipo intelectual que la máquina no puede realizar. Por tanto, la calidad de un levantamiento va a depender en gran medida de la habilidad, la práctica y sobre todo, la capacidad de selección del operador que maneje el aparato de restitución.

Para terminar, podemos hacer una breve exposición de las aplicaciones que en el campo de la restauración y la rehabilitación nos brinda la fotogrametría.

Podemos citar en primer lugar las aplicaciones ya conocidas de casi todos, de levantamientos con fotogrametría aérea de conjuntos o barrios históricos a escalas de hasta 1/500. Con las mismas fotografías utilizadas para hacer estos planos, pueden obtenerse perfiles e incluso alzados a la misma escala. (fig. 11). Con fotos aéreas especiales, que no son fáciles de conseguir pues se requiere el uso de cámaras de focal muy larga, pueden llegarse a restituir planos a escala 1/100, como el realizado de las cubiertas de la mezquita-catedral de Córdoba. A esta misma escala está previsto realizar las plantas de cubiertas de todas las catedrales de Andalucía.

Con cámaras terrestres, las aplicaciones son muy variadas. Conviene tener presente que a partir de un par de fotos estereoscópicas, podemos obtener desde un fotoplano, hasta dibujos a distintas escalas y con distintos niveles de detalle y con distintas proyecciones (plantas o perfiles horizontales, alzados y secciones o perfiles verticales) e incluso digitalizaciones de perfiles o de determinados elementos con las que podremos hacer un sinfín de aplicaciones, ya sea de cálculo de estructuras, análisis de deformaciones, tratamiento de imágenes de síntesis en ordenador, etc. (fig. 12).

Las aplicaciones más corrientes hoy en día, siguen siendo la obtención de planos de edificios. Como simple ilustración de posibilidades pueden verse los levantamientos de la catedral de Astorga (León) (fig. 13) y del claustro de la iglesia Santa María la Real de Nieva (Segovia) (fig. 14).

Por último quisiera añadir algunos consejos prácticos para quién desee o necesite realizar un levantamiento con fotogrametría. En primer lugar debe analizar si la fotogrametría es el método que le brinda las mejores posibilidades para realizar el trabajo. No todos los levantamientos se hacen mejor con esta técnica y no conviene en absoluto despreciar los sistemas tradicionales. Como norma general conviene pensar que cuanto más fácil sea el hacer un levantamiento con medios tradicionales es más barato y más rápido hacerlo con estos medios. Cuanto más complicado sea hacerlo de esta forma, porque haya dificultades de accesibilidad, porque el edificio sea muy complicado o tenga mucha decoración, en estos casos será más adecuado acudir a la fotogrametría.

Si se decide emplear fotogrametría se debe tener en cuenta que esta técnica es en principio costosa, pues precisa de instrumentos muy caros. Por ello conviene racionalizar al máximo su utilización y no pedir que se dibuje, como norma general, más que aquello

que realmente se necesite. Hay que tener en cuenta que las fotografías necesarias para hacer un trabajo a una escala determinada, van a ser las mismas tanto si se va a dibujar todo el detalle como si sólo se van a representar las líneas principales. Por ello, la toma de datos es en principio un término fijo del coste. Sin embargo, podemos decir que el coste de la restitución es proporcional a la longitud de línea que se dibuje. Por ello, no tiene sentido dibujar todo el detalle y la decoración si ese dibujo no va a tener una utilidad inmediata. La información está en las fotografías y podremos en cualquier momento utilizarla para completar el dibujo. Pero considerando el alto costo de la hora de restitución, conviene reducir esta al mínimo indispensable. Por ello es muy importante que al encargar el trabajo se tenga una idea muy clara de lo que se necesita y se concrete muy bien quién vaya a hacer el levantamiento, el documento gráfico final que se pretende obtener. Si esto no se hace así, podemos encontrarnos con que los costes de un levantamiento son disparatados o el resultado final no es el apetecido. También conviene tener en cuenta que en fotogrametría no se pueden reducir costos bajando la precisión del trabajo, pues en general ésta es siempre uniforme y elevada. Las operaciones a realizar son, en muchos casos, prácticamente las mismas para distintas escalas y precisiones, pues éstas últimas están en función de las primeras. En fotogrametría no se puede inventar lo que no se ve en las fotos, como a veces se hace en los levantamientos tradicionales, en que se interpolan líneas y elementos entre pocos puntos realmente medidos.

Finalmente deberemos tener en cuenta que las empresas de fotogrametría en España aún no cuentan, en muchos casos, con operadores especializados en restitución de arquitectura. Por ello, la restitución a nivel gráfico puede presentar deficiencias. Lo más conveniente será en tal caso pedir que nos hagan una prueba. Si el tipo de dibujo no nos satisface, debemos pedir que nos entreguen la minuta de restitución directamente sin delinear y realizar esta operación nosotros mismos o con un delineante especializado bajo nuestra dirección. Así podremos corregir errores de interpretación y dar al dibujo el carácter que mejor sirva a la representación del edificio, ahorrándonos el coste de una delineación que no nos va a servir.

En resumen, la calidad del levantamiento debe ser siempre responsabilidad de quién tiene encomendada la restauración o rehabilitación y no cabe excusarse en haber utilizado las más sofisticadas técnicas. Estas no son más que un instrumento, en muchos casos valioso, pero su efectividad siempre estará en función de la forma en que se empleen y de las personas que las manejen.