

LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL EN EL LEVANTAMIENTO DE PLANOS DE EDIFICIOS

(DIGITAL PHOTOGRAMETRY IN THE PLAN SURVEY OF BUILDINGS)

Jaime Santa Cruz Astorquí, Arquitecto
Prof. Tit. E.U. de Arquitectura Técnica, Universidad Politécnica de Madrid

Fecha de recepción: 10-XII-03

ESPAÑA

283-1

RESUMEN

La Fotogrametría ha dejado de ser una técnica reservada al campo de la Topografía, para constituirse en una herramienta eficaz y precisa para el levantamiento de planos de edificios, gracias a la potencia de los ordenadores y a la aparición de aplicaciones informáticas sencillas y asequibles.

En el campo de la rehabilitación y la conservación arquitectónicas, este sistema es especialmente adecuado, pues, además de ser casi tan preciso (errores < 1/2000) como el registro de puntos a través de estaciones topográficas, su ventaja principal reside en su sencillez, en la práctica ausencia de errores de interpretación y en la economía de los medios utilizados (un ordenador PC, una cámara digital y el software específico de restitución).

En el campo del levantamiento de planos de edificios históricos, este sistema es insustituible sobre todo debido a la reducción drástica del tiempo destinado a la toma de datos "in situ" (sólo la toma de fotografías y alguna medida de control) ya que todas las posibles medidas necesarias están registradas en dichas fotografías.

Tanto el desarrollo de la metodología de trabajo presentada en este artículo como los ejemplos mostrados, han sido desarrollados mediante la aplicación Photomodeler Pro.

SUMMARY

Photogrametry is not strictly a topography technique anymore; on the contrary, it has become a precise and useful tool for the drawing of plans in buildings, due to the great power of computers and to simple and affordable computer programs now on the market.

In the field of the rehabilitation and architectural conservation of buildings, this system has proven especially adequate since it is almost as precise (errors < 1/2000) as the recording of points with topographic stations. Its great advantage lays on the fact of its simplicity, as well as in the practical absence of interpretation errors and in the savings of the tools used implied (a Personal Computer, a digital camera and the specific software).

When dealing with sketching of historical building plans, this system has become unavoidable due to the drastic time reduction employed for the "in situ" data recollection (just a set of photographs and some control measures have to be stated) since all the possible needed measurements are recorded on the photographs.

The development of the working methodology, as well as the examples presented in this article, has been performed with the application of the Photomodeler Pro program.

1. LA FOTOGRAMETRÍA ARQUITECTÓNICA

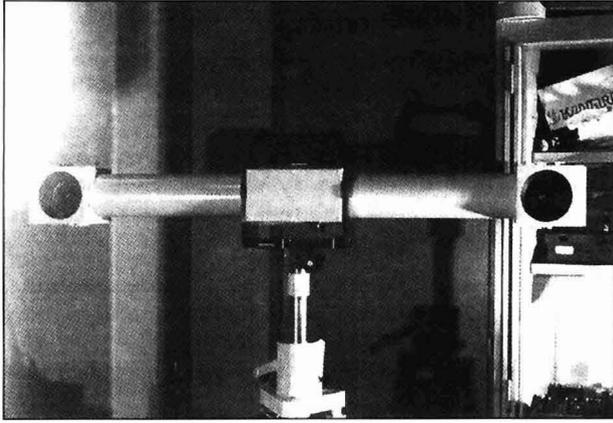
Podemos definir la Fotogrametría Arquitectónica como la técnica que permite restituir (reconstruir) la geometría y dimensiones de un objeto arquitectónico a través de un conjunto de fotografías tomadas del mismo.

En definitiva, consiste en un sistema que permite situar y medir puntos del objeto en sus coordenadas espaciales (X,Y,Z) mediante su determinación (marcando) en dos o más fotografías donde queden registrados. Básicamente, existen dos sistemas para realizar este tipo de restitución:

- . Método estereoscópico
- . Método de la intersección directa

1.1. Método estereoscópico

La restitución estereoscópica se basa en la introducción de dos fotos (de dirección paralela) del mismo objeto en un aparato restituidor que permite visualizar estereoscópicamente dicho objeto en relieve, y que dispone de unos mecanismos para situar un índice sobre cualquier punto del objeto virtual, calculándose automáticamente su posición en el espacio. Este sistema



Cámara estereoscópica.

se utiliza fundamentalmente para realizar planos de curvas de nivel sobre fotografías aéreas.

La gran ventaja de este sistema es que me permite “marcar” puntos cualquiera de la superficie de un objeto (es el caso de modelar la superficie de una estatua), y que se trabaja simultáneamente sobre, únicamente, dos fotos.

Es un sistema muy preciso, obteniéndose rangos de error mínimos, pero requiere de unas cámaras especiales y aparatos muy costosos, además de la intervención de operadores especializados.

1.2. Método por intersección directa

En este método, se utilizan las fotografías tomadas del objeto como si fuesen taquímetros virtuales. Es decir, cada punto marcado en una fotografía, supone una recta virtual que pasa por el centro del objetivo de la cámara y el punto señalado en la fotografía, deduciendo que obligadamente pasa también por el punto real del objeto. Al marcar el mismo punto en dos o más fotografías, todas las rectas deberán cortarse teóricamente en el espacio en un solo punto, que es precisamente el punto real del objeto. Las leyes de la perspectiva, permiten calcular las coordenadas reales de dicho punto (X,Y,Z) a través de las coordenadas fotográficas del punto en las fotografías (xf,yf):

Para realizar dicho cálculo, se necesita conocer una serie de datos, de forma idéntica al caso de operar con taquímetros:

- . La situación y orientación relativa de cada cámara respecto del resto de cámaras y del objeto.
- . La distancia focal de la cámara, tamaño de la película, y posición de la proyección del punto principal en la fotografía tomada.



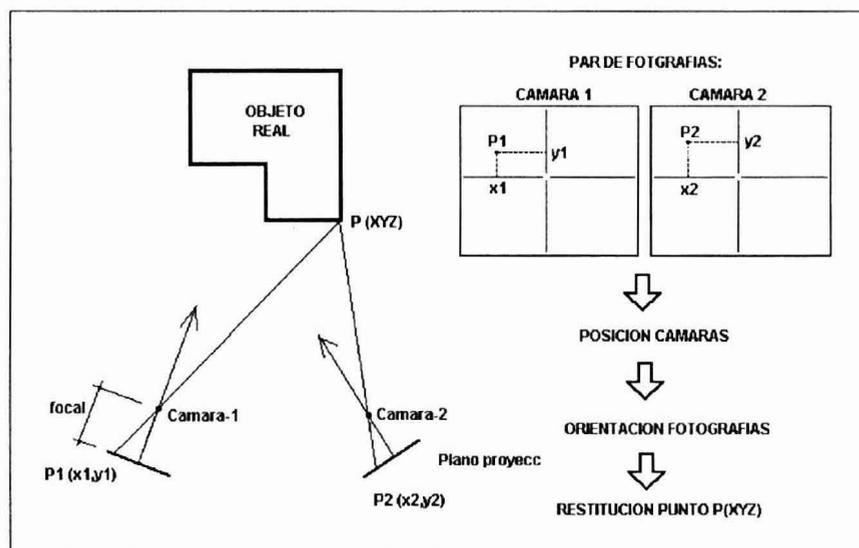
Curvas de nivel en un bajorrelieve en el Templo de Debod (Madrid).

Este sistema se utiliza en la actualidad mediante ordenadores, por la exactitud y rapidez del cálculo, lo que lo hace viable frente al método estereoscópico.

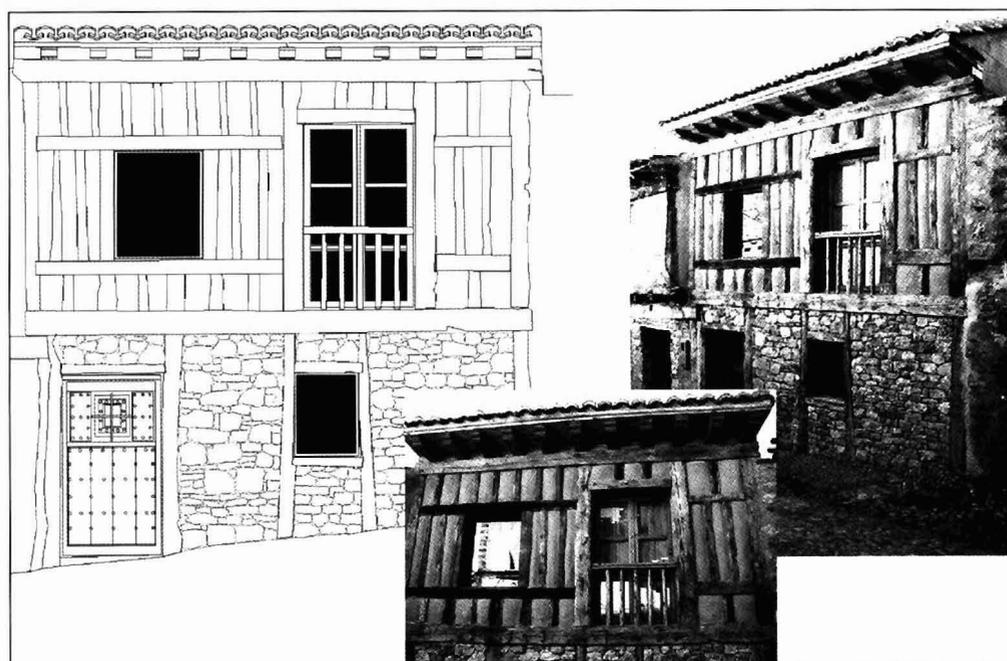
Aunque este método se basa en la definición de puntos, existe la posibilidad de registrar contornos de forma continua siempre y cuando todos sus puntos se sitúen en un

único plano, previamente definido por tres o más puntos del objeto (esto permite "calcar" formas planas complejas, sin necesidad de definir cada uno de sus puntos, y, además, hacerlo con una única fotografía).

La gran ventaja de este sistema respecto del estereoscópico es su gran sencillez y la asequibilidad del equipo necesari-



Esquema del proceso geométrico de la intersección directa.



Restitución por intersección directa de la fachada de un edificio en Catalañazor.

rio (cámara digital convencional, un ordenador tipo PC y el software de restitución).

Los inconvenientes residen en la necesidad de marcar puntos del objeto bien definidos (como encuentros de aristas, marcas, etc.), lo que le hace un sistema adecuado para la restitución de objetos geométricos (edificios) aunque no para objetos de superficies irregulares (estatuas).

2. NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA FOTOGRAMETRÍA ARQUITECTÓNICA

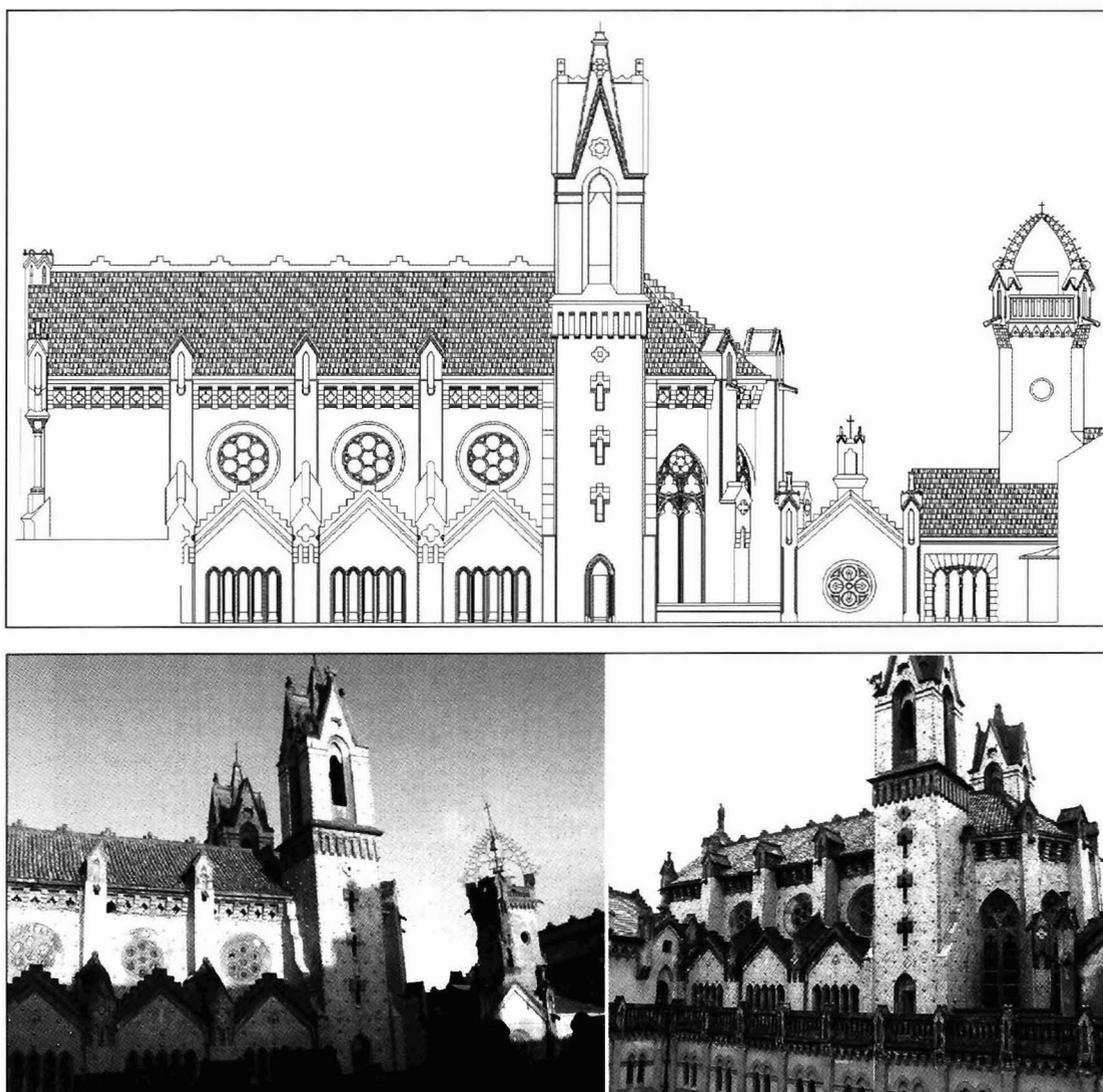
El creciente aumento de la capacidad y velocidad de los ordenadores personales, así como sus cualidades gráficas, ha posibilitado el desarrollo de programas que permiten realizar la totalidad del proceso de restitución en tiempos y costes asequibles a cualquier profesional.

De igual forma, las cámaras necesarias para éste proceso, empiezan a ser más económicas, pudiéndose utilizar cámaras convencionales puesto que la peor calidad de lentes se compensa con la potencia de cálculo, y la calibración de las mismas se puede realizar con un ordenador.

Por todo esto, se hace muy interesante conocer esta técnica, que aunque data de hace bastantes años, empieza a ser ahora asequible e interesante para cualquier profesional dedicado a la rehabilitación o restauración arquitectónicas.

Básicamente se proponen dos sistemas o metodologías para el levantamiento de planos de objetos arquitectónicos a través de la fotogrametría:

- . Modelo tridimensional a través de puntos y líneas
- . Ortofotos



Restitución de la fachada de la iglesia de la Universidad Pontificia de Comillas, Cantabria (CICOP-Caja Cantabria).

El primero de ellos consiste en restituir los puntos del objeto a través de las fotografías tomadas, que previamente se digitalizan para poder operar con ellas desde el ordenador.

De la misma forma que se describía antes, se trata de *marcar* puntos homólogos del objeto en dos o más fotografías, con lo que el ordenador calcula automáticamente sus coordenadas espaciales.

El programa pone a nuestra disposición una serie de herramientas que permiten dibujar líneas entre los puntos marcados, materializar superficies discretas entre tres puntos definidos, medir distancias y superficies reales, etc.

Posteriormente, una vez terminada la restitución, el programa dispone de módulos para la exportación de los datos a los diferentes formatos utilizados en los programas de CAD más usuales.

La gran potencia de cálculo de los ordenadores, permite la orientación automática y posicionamiento respecto del objeto de las cámaras, sin más que identificar una serie de puntos homólogos en al menos tres fotografías. Esto es de suma importancia, pues permite que el trabajo de campo se reduzca exclusivamente a tomar las fotografías y a tomar una medida entre dos puntos conocidos, a efectos de proporcionar posteriormente una escala correcta al modelo 3D, todo ello sin necesidad de apoyo topográfico.

Una vez importado el modelo 3D en un programa de CAD, podemos rotarlo, escalarlo, y, sobre todo, proyectar su información en los planos principales para obtener los planos acotados del objeto.

El segundo sistema, *las ortofotos*, consiste en un proceso automático mediante el cual el ordenador produce una fotografía del objeto en proyección ortogonal. En definitiva, consiste en obtener fotografías de cada plano del objeto en su dimensión real, de tal forma que se puede consi-

derar como una fotografía de alzado, permitiendo calcar directamente cualquier contorno o forma situado en dicho plano sin necesidad de definir puntos intermedios (esto facilita tremendamente el levantamiento de fachadas con despiece de mamposterías, sin necesidad de recurrir a definir todos los puntos de las mismas).

2.1. Características y ventajas de la restitución digital

En resumen, las ventajas que se derivan de las nuevas tecnologías aplicadas a la técnica de la restitución fotogramétrica son:

- . Toma de datos sencilla y rápida (no necesita de apoyo topográfico).
- . Exactitud de todo lo registrado (a mayor número de fotos, mayor precisión).
- . No es necesario volver al lugar para toma de datos complementaria.
- . Trabajo de restitución sencillo y rápido.
- . Proceso de restitución en tantas fases como se quiera (las fotografías digitalizadas no se deforman ni pierden calidad).
- . Posibilidad de restituir el objeto con varias personas trabajando simultáneamente en el mismo objeto.
- . Catalogación perfecta del objeto sin necesidad de restituirlo.
- . Programas de restitución asequibles tanto económicamente como en su dificultad de utilización.

En el campo de la rehabilitación, hay que resaltar la gran fidelidad de los planos obtenidos, que permiten detectar fácilmente deformaciones en el edificio que difícilmente podrían ser detectadas de otro modo. En el ejemplo de la calle Sombrerería, la fotogrametría permi-



Ortofoto de la fachada principal del Museo de San Isidro (Pº de San Andrés, Madrid).



Restitución de la fachada de la calle Sombrerería nº 8, Madrid.

tió descubrir (e incluso medir) un asiento producido en la parte media de la fachada de un edificio, algo que a simple vista era indetectable debido a la estrechez de la calle.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. Trabajo de campo: planificación del trabajo y toma de fotografías

Si bien la restitución fotogramétrica reduce drásticamente los tiempos de trabajo de campo en las tomas de datos, también es verdad que se hace necesaria una buena planificación del trabajo para evitar errores posteriores.

3.1.1. Planificación de la toma de fotografías

Existen a grandes rasgos dos métodos para realizar las fotografías de un edificio con el objeto de restituirlo:

. Por una lado, y sin necesidad de planificar el recorrido, se trata de tomar el mayor número de fotografías posible del mismo. La idea es que así nos aseguraremos de poder seleccionar a posteriori aquellas fotografías realmente necesarias para la restitución del edificio, y para que, en fases posteriores del trabajo, poder estudiar partes del edificio con más detalle, incorporando fotografías no utilizadas. Este método es recomendable cuando disponemos de poca o ninguna información previa o, sencillamente, no se dispone de tiempo suficiente para planificar el trabajo.

. El otro método se basa en una planificación rigurosa de cada fotografía. Para ello se recomienda obtener el plano

catastral de la zona y algunas fotografías previas. Con este material realizaremos un croquis en planta donde anotaremos los posibles obstáculos para fotografiar todas las fachadas, y así planificar la posición de cada una de las fotografías.

Con este método reducimos el tiempo de fotografía (muy aconsejable en zonas urbanas con tráfico denso y muchos peatones) y el posterior de restitución al trabajar con menor número de fotografías.

Lo más aconsejable es combinar los dos métodos, es decir, comenzar con una buena planificación y las fotografías mínimas que resulten de ese estudio, para, finalmente, realizar un reportaje intensivo de fotografías que posiblemente se necesitarán en un futuro y que no representan un coste mayor (sobre todo en fotografía digital).

3.1.2. Normas básicas en la toma de fotografías

Es siempre la fase más delicada (y determinante) de todo el proceso, pues de una correcta serie de fotografías dependerá no solo la precisión final de la restitución, sino el número de puntos que podrán ser restituidos.

Los factores a tomar en cuenta a la hora de fotografiar un edificio son:

. TODOS los puntos que se desee restituir deberán estar en -al menos- dos fotografías consecutivas, para (como ya se explicó) que sea posible su restitución. Para obtener una alta precisión, es recomendable restituir los puntos con tres o más fotografías.



Buena definición y contraste.

Poca precisión en puntos y aristas.

. El ángulo formado entre dos fotografías consecutivas deberá aproximarse lo máximo posible a 90° para obtener la mejor precisión de intersección. Esto implica buscar puntos de vista lo más abiertos posible, lo que a veces se soluciona fotografiando el edificio desde una misma posición en planta, pero a dos alturas diferentes.

. Hay que poner especial cuidado en evitar los obstáculos que interfieran la fotografía, como son árboles, coches, farolas, etc. (los árboles suelen ser el peor “enemigo” de esta técnica).

. También es decisiva la calidad de la fotografía, es decir, el contraste, nitidez y definición de la imagen obtenida, para permitir identificar y marcar con suficiente precisión los puntos que se van a restituir.

A ciertas horas del día, la fotografía de un edificio con una fachada orientada al sol suele producir imágenes muy contrastadas que bien hace invisible la fachada en sombra o, por el contrario, la fachada soleada aparece blanca por efecto de una sobreexposición. Por ello es aconsejable planificar la sesión en horas de poco contraste (de hecho, los días nublados son idóneos).

En cuanto a la resolución (definición) de la fotografía, decir que parte de la precisión final obtenida depende de la definición de la imagen digitalizada. Esta definición se mide en el número de PIXELS o puntos de imagen, valor obtenido de multiplicar el número de píxeles horizontales por los verticales (una buena resolución está por encima de los 3 millones de píxeles).

3.2. Proceso de restitución

Una vez realizado el trabajo de campo (toma de fotografías, croquis y mediciones necesarias), podemos comenzar el proceso de restitución en la oficina, siendo para ello necesaria una planificación previa, sobre todo si el trabajo se va a realizar en equipo.

El proceso (independientemente del sistema elegido) es siempre el mismo: primero procedemos a “orientar” las

fotografías, y, en consecuencia, definir el modelo matemático de transformación de *coordenadas-fotografía* a *coordenadas X,Y,Z* del modelo 3D, lo que se realiza de forma casi automática.

Posteriormente, podemos restituir la geometría (puntos y líneas) del edificio y obtener los planos del mismo.

3.2.1. Programación del trabajo

En la mayor parte de los casos, se hace necesaria una subdivisión del trabajo de restitución de la geometría del edificio, bien debido al tamaño de éste, que obliga a partirlo en “trozos” que posteriormente se unirán, o bien debido a que dicha tarea se va a realizar entre varias personas.

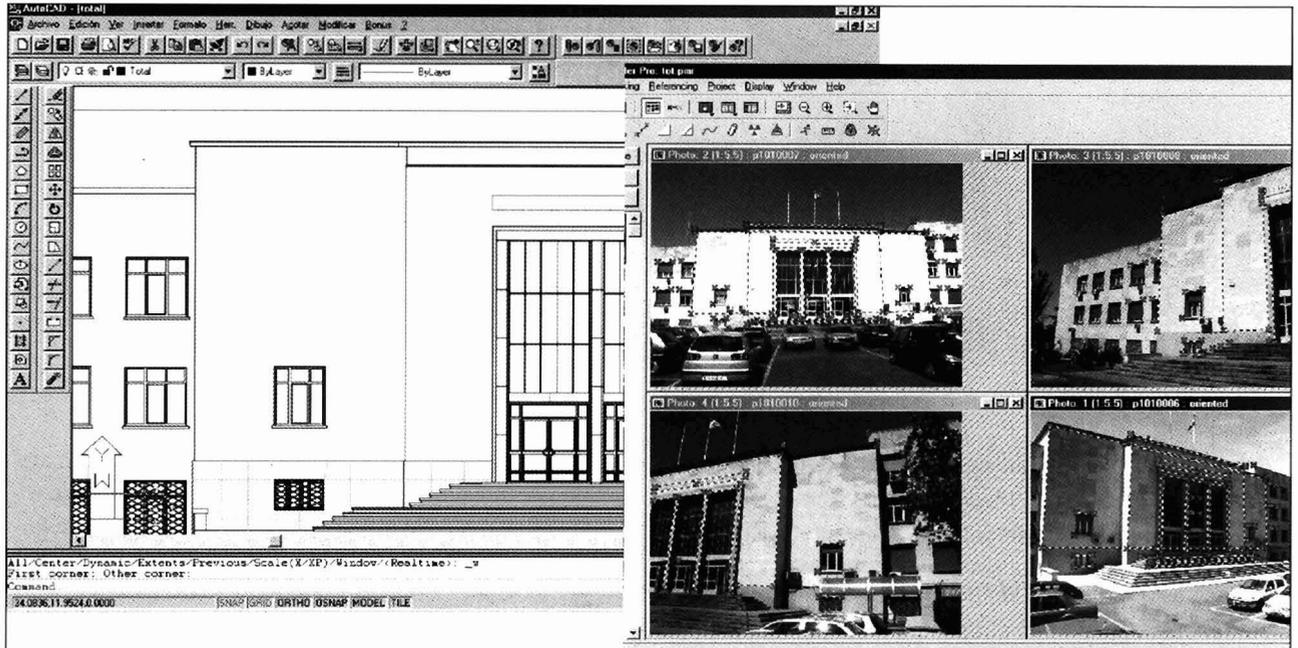
Otro de los motivos puede ser la división del trabajo en una restitución de la geometría fundamental del edificio y un estudio detallado e cada una de las partes singulares (huecos, cornisas, torreones, adornos, etc.), que, posteriormente, se incluirán en la geometría global.

Para ello debemos seleccionar y agrupar las fotografías que se utilizarán en cada grupo de trabajo, y mediante croquis definir cada parcela de dibujo de tal forma que no se restituya dos veces lo mismo, a la vez que debemos asegurar la restitución de al menos 3 puntos comunes y no colineales entre grupos, para, posteriormente, poder unificar todos los trabajos parciales en un único modelo 3D y sistema de coordenadas.

También es aquí cuando hay que decidir el método de trabajo a seguir, puesto que la restitución fotogramétrica permite tanto generar directamente el modelo 3D, como servir únicamente de instrumento de medida y apoyo a un programa de CAD.

Modelo 3D del edificio

Este sistema nos permite, sin salir del programa de restitución, “dibujar” en tres dimensiones la geometría del edificio con el nivel de detalle que deseamos. Posteriormente, exportaremos dicho modelo en sus distintas proyecciones a un programa de CAD para confeccionar los planos



Restitución de la fachada de la E. U. de Arquitectura Técnica de Madrid (dibujo en AutoCAD con apoyo de Photomodeler).

de planta, alzado y sección. Cuanto mayor sea el detalle en la restitución (pudiendo incluso llegar a restituir el despiece de una sillería de fachada), menor será el trabajo para completar los planos en el programa de CAD.

La ventaja de este sistema es que contamos con un único modelo del edificio, cuyos planos son proyecciones (automáticas) del mismo. Así, la información contenida en los planos representará con más exactitud la realidad. El mayor inconveniente viene dado por la gran cantidad de tiempo que requiere la restitución de la totalidad de los puntos del edificio, cuando casi siempre existen elementos repetitivos con diferencias insignificantes.

Por ello, es recomendable utilizar ésta vía de trabajo cuando se trate de levantamientos de planos de edificios históricos y catalogados, donde se precisa un rigor total en la representación de todos sus elementos.

Sistema de medida 3D

Este sistema es mucho más sencillo, y quizá el más adecuado en la mayoría de los trabajos asociados al levantamiento de planos de edificios.

Se trata de dibujar los planos del edificio directamente en un programa de CAD (siguiendo unos croquis previos), de los cuales conocemos la forma y proporción, pero NO las medidas exactas. Para ello tendremos abierta una ventana con el programa de restitución, que nos permitirá realizar aquellas medidas puntuales necesarias para completar nuestro dibujo (por ejemplo la posición, alto y ancho de una puerta). Lógicamente, tendremos que aceptar unos mínimos márgenes de error al considerar de antemano que

elementos “casi iguales” se representan como idénticos, aunque seamos conscientes de que no lo sean en realidad.

No obstante, no se debe elegir un único sistema, sino que hay que diseñar un método de trabajo adecuado a nuestro edificio, que casi siempre combinará ambos sistemas en mayor o menor proporción.

3.2.2. Calibración de la cámara

Este proceso se realiza una sola vez con cada cámara utilizada, o mejor dicho, con cada combinación de cámara-objetivo utilizados. Si se trabaja con cámaras convencionales, también se calibrará el escáner utilizado para digitalizar las fotografías (en realidad, cada combinación cámara-objetivo-escáner utilizados).

El motivo de este proceso previo es la necesidad de determinar (de forma automática) las características físicas propias de cada cámara:

- . Distancia focal
- . Dimensiones H,V de la imagen (en mm y en píxeles)
- . Posición del punto principal (proyección eje óptico en la imagen)
- . Aberraciones de la/s lente/s (distorsión de la imagen respecto de una perspectiva)

Con estos parámetros intrínsecos de cada cámara (dos cámaras idénticas variarán seguramente en su calibración), el programa será capaz de formular el modelo matemático que servirá para realizar la intersección directa.

una de ellas se hará cargo de aquellas fotografías (ya orientadas) que abarquen la zona del edificio asignada. El sistema a partir de aquí es muy sencillo: marcaremos y referenciaremos en dos o más fotografías cada punto que defina la geometría que se desee representar en planos. Finalmente, la suma de cada parte restituida formará los planos (alzados) completos del edificio.

Para ello, el programa pone a nuestra disposición una serie de herramientas que permiten no sólo acelerar este trabajo, sino definir geometrías que sería imposible definir a través de puntos visibles en las fotos, como son ejes o líneas definidas por puntos diferentes en cada foto, curvas tipo NURBS, y cilindros (por eje y diámetro). Además, podremos definir superficies (discretizadas en triángulos), útiles para crear un modelo sólido 3D.

Otra de las herramientas que nos proporciona el programa es la de calcar líneas en un mismo plano definiendo sus puntos en UNA SOLA FOTO. Para ello se indicará previamente el plano que contiene dicha geometría (esto es muy útil para dibujar despieces de sillerías y figuras en general que estén en un plano).

Finalmente, podemos exportar el conjunto de puntos, curvas y líneas a un programa de CAD. Esto se puede realizar dos formas:

- Exportar el modelo 3D completo
- Exportar la geometría plana 2D (o parte de ella) proyectada en un plano determinado (planta, alzados, etc.).

Ya en el programa de CAD, se pueden completar los planos, incorporar texto, cotas, tramados, etc., y maquetarlos para su presentación.

Bibliografía

T. Gil Piqueras. *Levantamientos planimétricos en edificación*. Ed: UPV, Valencia 2003

D. Mario Docci. *Manuale di rilevamento architettonico e urbano* Maestri-Roma: Laterza, 1994

Página Web Photodeler Pro: www.photodeler.com

* * *