

MURCIA20032004

MÁSTER DE RESTAURACIÓN  
DEL PATRIMONIO  
HISTÓRICO

Oct 03 - Oct 04

Área 1  
El conocimiento

Organizan



Auspicia

ACADEMIA DEL PARTAL



## TÉCNICAS INFOGRÁFICAS EN EL ESTUDIO DEL PATRIMONIO CULTURAL

### INTRODUCCIÓN

Conocemos como técnicas infográficas, aquellas que recurren al uso de los distintos sistemas informatizados de gestión de imágenes, ya sean de tipo raster, ya dibujos vectoriales. El medio gráfico ha jugado siempre un papel destacado en la identificación, el análisis y valoración del patrimonio cultural. Dibujos, pinturas y fotografías han estado presentes en cualquier intervención, bien sea para individualizar sus elementos, bien para estudiar y analizar su naturaleza. En todo caso, resulta patente que el recurso a las imágenes es algo necesario en el proceso de conocimiento de los bienes patrimoniales.

Como en todas las áreas del saber, también en el campo de la documentación y análisis del Patrimonio la informática ha propiciado cambios y avances sustanciales. La representación mediante imágenes y dibujos constituye un método imperativo de documentación y es a su vez un modo de análisis y conocimiento que nos proporciona una información básica y obligada. Debemos aclarar que aunque la mayor parte de los ejemplos y alusiones que se hacen en el texto que sigue están referidos a edificios o elementos arquitectónicos, por ser este el campo en el que se desarrolla mi actividad, son en su mayoría extensibles a cualquier otro bien u objeto patrimonial.

A modo de preámbulo, resulta obligado hacer unas breves reflexiones sobre esta necesidad del estudio y conocimiento del patrimonio como base de su conservación. Parece obvio, aunque no siem-

pre esto se traduzca en la forma adecuada, que la realización de un completo y minucioso análisis del objeto sobre el que vamos a actuar que nos conduzca a un conocimiento lo más profundo posible de dicho objeto, como paso previo a cualquier intervención sobre el mismo es a todas luces imprescindible. Y tratándose de bienes de interés cultural, estas consideraciones revisten una trascendencia especial por el valor, generalmente no cuantificable, de los bienes patrimoniales. Pienso que es importante no perder esta perspectiva, ya que precisamente en los estudios previos a toda actuación de este tipo, este carácter debe ser determinante. Porque en la salvaguardia de los valores consustanciales a todo objeto histórico, debe estar presente que no solo se trata de salvaguardar la pura materialidad del objeto, sino que debemos recuperar, en mayor medida si cabe, aquellos otros elementos inmateriales que son seguramente más frágiles, ya que muchas veces su conocimiento solo lo podremos lograr a partir de un cuidadoso análisis y estudio de los elementos materiales, y que en muchos casos desaparece con la mera transformación de éstos. Nos referimos, claro está, a los valores históricos, ambientales y culturales, es decir, a todo aquello que el monumento o el edificio representa o ha podido representar para la sociedad que lo produjo, la que lo utilizó y en último caso, para nuestra sociedad actual, responsable de conservar, acrecentar y transmitir todo esto a quienes vengan después.

La existencia de estos valores obliga a ser especialmente cautos y cuidadosos en cualquier actuación y a afrontar la responsabilidad que se adquiere al manipular datos y elementos que no son solo patrimonio de toda la sociedad actual, sino de las futuras generaciones. En este caso no cabe ampararse en la presunción de inocencia. Hay obliga-

ción de aportar pruebas de la "inocencia" de cualquier actuación sobre el patrimonio, o el juicio que merecerá podrá ser, cuando menos, de presunción de culpabilidad.

Esta breve reflexión puede servir de introducción para abordar la necesidad y la problemática de todo lo que supone la documentación previa de cualquier edificio o bien patrimonial, a realizar antes y durante las intervenciones restauradoras. Resulta obvio que debemos en primer lugar documentar de manera precisa el estado del bien antes de nuestra actuación. Y aparte de la descripción literaria o en imágenes que podremos realizar mediante fotografías o técnicas más actuales como el vídeo, la documentación planimétrica resulta básica y fundamental pues es la que permite aunar la imagen del edificio con sus datos dimensionales, proporcionándonos la información sobre los valores espaciales y de escala de la obra arquitectónica. La documentación planimétrica resulta además imprescindible como base en que recoger otros tipos de información, que generalmente adquieren todo su valor cuando se grafían sobre los planos del edificio. Todo ello sin olvidar las exigencias normativas en cuanto a la forma de plasmar en los oportunos documentos administrativos los proyectos de intervención. Pero ante todo, los planos deben recoger la información física del estado del edificio que permita saber cual era su situación, forma y estructura con anterioridad a nuestra actuación y posteriormente tendrán que recoger cuanto información el propio edificio nos vaya facilitando en el transcurso de las actuaciones, que deberá quedar registrada por todos los medios disponibles, especialmente si la propia intervención va a suponer una alteración, ocultación o incluso desaparición de tales datos. No es éste el momento de abordar, pero tampoco de olvidar, la importancia de saber leer en el edificio la información de todo tipo, histórica, constructiva, estética, etc. que siempre éste nos aporta y que desgraciadamente y con tanta frecuencia pasa desapercibida ante los ojos o las manos de técnicos y operarios insensibles o simplemente ignorantes, sin que ello pueda ser excusa o disculpa frente a la responsabilidad en la que incurrir.

Este proceso de análisis es fundamental porque nos puede ayudar a comprender en toda su compleji-

dad el monumento, sobre todo en aquellos casos en que éste hubiera tenido una historia llena de vicisitudes que hayan influido en su evolución y transformación. E insistimos 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 nuevo al edificio, es fundamental, si queremos que el resultado final sea el adecuado, que conozcamos cuales fueros las circunstancias en que éste fue construido, para qué se construyó, cómo se hizo y por qué. Y no solo en sus inicios, sino en 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. 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 o se desvanezcan ante nosotros.

Un caso claro y que a modo de ejemplo ilustra la dificultad que muchas veces entraña la correcta documentación patrimonial, se deriva de establecer una distinción precisa entre lo que son formas teóricas y formas reales. Nuestro interés debe centrarse en conocer en primer lugar la forma real del objeto, no las formas teóricas con que pudo ser concebido que podrán ser objeto de posteriores estudios, pero que en cualquier caso habrán de basarse en la forma real que actualmente tiene. Resulta importante resaltar que entre forma real y forma teórica media, ante todo, la interpretación subjetiva de quien deduce la segunda de la primera, siempre que no exista documento o prueba fehaciente de que tal fue la forma con que la concibió su autor. Y en cualquier caso siempre intervienen las deformaciones fruto de interpretaciones o errores de los ejecutores de la obra, los efectos del

tiempo, de las propias cargas y acciones de la estructura, de alteraciones posteriores, etc; en suma, de la propia historia del edificio cuyo conocimiento tiene que ser uno de los objetivos primordiales de nuestra actuación. Y esto no solo por pura curiosidad intelectual, que en todo caso es una exigencia social cada vez mas sentida, sino porque en gran medida nos puede proporcionar las pautas más adecuadas para conocer la causa de los daños que el edificio sufre y la forma mas adecuada de atajarlos. Las formas reales suelen ser mucho más complejas y difíciles de representar que las teóricas, que generalmente se basan en figuras geométricas simples. Ante las dificultades que entraña la representación de estas formas, no es de extrañar que con mucha frecuencia se acuda a representar formas teóricas, fruto de una interpretación escasamente fundada, y que puede producir errores no solo de tipo histórico o estético, sino de comportamiento estructural. De ahí la importancia de poder contar siempre con un análisis previo y riguroso del objeto o edificio sobre el que se interviene.

## PLANIMETRÍA

La representación de la obra arquitectura, entendida como la configuración del espacio destinado a ser marco y albergue de las actividades del hombre, se ha visto siempre sometida a la contradicción de tener que representar en dos dimensiones aquello que por propia naturaleza tiene tres. El dibujo como medio de expresión y representación está forzado a transformar en formas bidimensionales el espacio arquitectónico y los volúmenes y elementos que lo configuran. Esta necesidad de plasmar la arquitectura en representaciones bidimensionales se ha planteado siempre en el marco del dilema de representar los espacios y formas de manera que su forma gráfica permita conocerlos en sus dimensiones y extensión o nos permita tener una idea perceptiva de como el edificio o su espacio se presentan ante quien los contempla o contemplará en el caso de que se trate de la generación proyectual de estos elementos.

El dilema claramente proviene del hecho de que el sistema que nos permite conocer de modo inmediato sus dimensiones, que es el sistema dié-

drico o de proyección ortogonal, rara vez coincide o se aproxima a la forma real en que la visión humana permite conocer y aprehender la forma y disposición del espacio. La visión humana se vale de imágenes perspectivas o de proyección cónica, generadas en el ojo, que actúa como una cámara oscura similar a una cámara fotográfica o mas bien como una cámara de vídeo. Esta es la razón de que la perspectiva sea el medio preferido de representación de la arquitectura especialmente para aquellas personas a las que las meras cuestiones métricas les resultan indiferentes y sobre todo para aquellas que tiene dificultad en interpretar correctamente las representaciones en sistema diédrico.

Pero el uso de las perspectivas cónicas como instrumentos de expresión y representación de la arquitectura tropieza con dos serias dificultades que guardan una cierta interrelación. En primer lugar la mayor complejidad y por tanto dificultad en la generación de estas imágenes, sobre todo si tienen que poseer rigor y precisión. La otra dificultad estriba en la imposibilidad de obtener dimensiones reales de forma directa sobre la representación perspectiva, lo que la relega como medio de representación válido para aplicaciones constructivas o de análisis que conlleven valoraciones dimensionales.

El paso del sistema diédrico al cónico ha sido siempre una aplicación limitada y no siempre fácil cuando el objeto o el espacio arquitectónico encierran gran complejidad en sus formas o en su disposición. En muchas ocasiones, y en la historia de la arquitectura abundan sobremanera los ejemplos, la manera de conjugar el dilema y las dificultades inherentes a ambos tipos de representación no ha sido otra que acudir al único sistema de representación que permite aunar las ventajas de todos los demás, que es el de un modelo tridimensional a escala reducida, es decir, la maqueta. Este sistema, al soslayar de manera absoluta el problema de representar las tres dimensiones con solo dos, resuelve de forma categórica el problema, aunque sea a costa de que la propia representación no pueda nunca guardarse en una carpeta o en un planero y resulte por tanto de complicado manejo, transporte y almacenaje.

Los actuales sistemas de diseño asistido por ordenador (CAD o DAO) han venido a resolver en

cierta medida tanto el dilema respecto al tipo de proyección, como la dificultad debida a la poca manejabilidad de la maqueta, al permitir generar auténticos modelos tridimensionales con los que resulta posible conocer tanto los valores dimensionales de lo representado, como obtener cualquier tipo de representación bien sea en proyección ortogonal (diédrica), ortogonal oblicua (axonométrica) o centrada (perspectiva cónica). Estos modelos son en realidad modelos digitales del objeto, definidos por series de puntos registrados mediante sus tres coordenadas cartesianas y codificados como integrantes, en una cierta posición, de determinadas entidades básicas (líneas, polilíneas, bordes de superficies, etc) que sirven a la definición del objeto. Son pues modelos matemáticos que merced al ordenador y sus periféricos (pantalla, trazador gráfico o impresora) pueden ser representados gráficamente.

Debemos hacer aquí una clara distinción entre lo que supone el CAD como simple sistema o instrumento de dibujo plano, utilizado para la representación en sistema diédrico de objetos o entidades, y lo que supone su utilización como sistema generador de modelos tridimensionales susceptibles de ser representados, mediante la propia aplicación, en cualquier sistema de proyección.

La dificultad de este tipo de aplicaciones estriba precisamente en la creación del modelo digital que nos de la imagen, con mayor o menor detalle, de aquello que pretendemos representar. Y esta dificultad tiene dos vertientes distintas según tratemos de representar una arquitectura imaginada o una arquitectura real, existente. Es decir, según estemos diseñando y proyectando nueva arquitectura o tratando de representar un edificio o un espacio existentes. En el primer caso la dificultad de generar el modelo dependerá de la propia naturaleza con que haya sido concebido. Lo habitual en la arquitectura actual es que los espacios y volúmenes sean reducibles a formas prismáticas o formas geométricas simples de fácil definición, lo que suele simplificar la operación. Además, hay que tener en cuenta que en estos casos se trabaja sobre un modelo ideal en el que la geometría suele imperar sobre cualquier otra causa o razón para la elección de las formas.

Pero cuando nos enfrentamos al problemas de re-

presentar arquitectura real, ya construida, el problema suele ser notablemente mas complejo, pues muchas veces la forma real de lo edificado no corresponde exactamente con la forma ideal de su primigenia concepción y no es por tanto una forma geométrica pura, sino que sobre ella han podido influir numerosos accidentes, desde deficiencias en la ejecución hasta deformaciones debidas a una mala concepción de la estructura, o a acciones externas de cualquier tipo. Además, en muchos casos la arquitectura histórica ha seguido pautas de gestación y diseño notablemente mas complejas, al menos desde el punto de vista formal, de las que habitualmente rigen el diseño arquitectónico actual. En estos casos, la formación del modelo digital en el CAD resulta labor notablemente mas engorrosa.

El sistema habitual de trabajar midiendo previamente la planta del edificio y asignando a determinados puntos referidos a esa planta una tercera coordenada de altura medida normalmente con mayores dificultades que las de la planta, no resulta nada fácil en cuanto el espacio se complica. La definición del espacio a base de secciones no siempre expresa adecuadamente su totalidad, y el completamiento puede exigir realizar interpolaciones en muchas ocasiones fuera de toda garantía de precisión o fiabilidad. Si además pretendemos que el modelo refleje de forma fidedigna la realidad física del edificio, incluyendo deformaciones o deterioros sufridos y que alteran la forma originaria, el problema puede llegar en muchos casos a ser irresoluble por los métodos tradicionales. Además, trabajar en CAD asignando la tercera coordenada mediante el teclado del ordenador es tarea a la par laboriosa y tediosa. Y definir formas complejas mediante el dibujo sobre planos auxiliares en los que ir dibujando en representación plana aspectos o partes del objeto tridimensional es labor que por su complejidad exige hábito y gran conocimiento de todas las herramientas de la aplicación sin que por ello deje de resultar ardua y complicada.

El proceso de documentación planimétrica, lo que llamamos un levantamiento, comporta dos fases claras y bien diferenciadas. La primera que constituye la toma de datos, se efectúa en el edificio pudiendo realizarse por medio de distintos procedimientos o técnicas. La segunda fase, consistente

en la plasmación de los datos en forma de dibujos u otro tipo de documentos gráficos, se realiza con posterioridad en el gabinete o estudio. Con la mayor parte de las técnicas, la medición del edificio la vamos a realizar en la primera fase, y requerirá la elaboración de una serie de croquis o dibujos previos, sin escala, en los que iremos anotando las cotas o referencias dimensionales. Sin embargo, con la utilización de la técnica fotogramétrica, la mayor parte de la medición la realizamos también en el gabinete, quedando el trabajo de campo muy limitado pues se reducen casi completamente la necesidad de croquizar. Aunque los sistemas tradicionales de medición directa sobre los edificios han constituido y constituyen aún la forma más común de acercarse a este necesario conocimiento y análisis de los elementos materiales que son objeto de una intervención y tienen la enorme ventaja de que exigen un contacto directo con los restos que posibilita un conocimiento en profundidad, conllevan también siempre serias limitaciones. En primer lugar, son lentos y laboriosos cuando se quiere alcanzar un grado aceptable de precisión. Por otro lado, en muchos casos, pueden llegar a ser simplemente inoperantes para el objetivo buscado por la naturaleza de los restos o de los edificios, su tamaño o su decoración. Como consecuencia de ello, está claro que las necesidades de documentación que se presentan en este campo son difícilmente abordables con unos costos razonables y un tiempo de ejecución óptimo si se siguen aplicando únicamente estos métodos.

Vamos a referirnos por tanto de modo primordial a las técnicas de fotogrametría, por ser las menos divulgadas, aunque no debemos por ello dejar de recordar los procedimientos tradicionales de levantamiento planimétrico, porque a pesar de que pueda pensarse que esa técnica es la panacea para este tipo de trabajo, no para todos los casos es así, y los sistemas tradicionales siguen siendo apropiados y necesarios.

## FOTOGRAMETRÍA

### Principios generales

La fotogrametría es una técnica de medición que se basa en la utilización de fotografías. La fotografía es un sistema automático de registro de imágenes

perspectivas. La perspectiva, como sistema de representación con proyección centrada, se genera por la intersección del haz de direcciones que se forma al unir los puntos a representar con el centro de proyección y prolongarlo hasta su intersección con el plano de proyección o plano de imagen (Fig 1). Esto significa que si disponemos de una imagen fotográfica y conocemos la posición relativa del centro de proyección (orientación interna), podremos reconstruir el haz proyectivo y por tanto, las direcciones de todos los puntos que aparezcan registrados en la imagen. Si además conocemos la posición y orientación de la cámara en el momento de obtención de la imagen (orientación externa), tendremos determinadas las direcciones del espacio de todos esos puntos referidas no sólo a la estación o punto de toma de la fotografía, sino al sistema general de coordenadas.

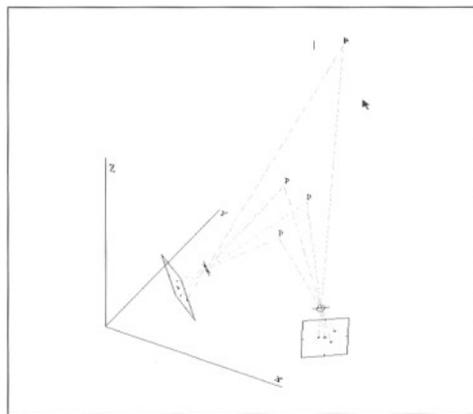


Figura 1. Generación de una imagen fotográfica

Podemos por tanto definir la fotogrametría como aquella técnica que permite medir objetos, edificios o la misma superficie terrestre, a partir de imágenes perspectivas obtenidas por procedimientos fotográficos. 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 según un sistema de proyección central, y por tanto siguiendo leyes matemáticas. De hecho, una imagen fotográfica junto con su centro de proyección situada en el espacio con la misma orientación con que fue obtenida, per-

mite definir un haz de direcciones en el espacio correspondientes a todos los puntos que aparecen en la misma.

Con una sola imagen, es decir, con un solo haz de direcciones, no podremos determinar la posición en el espacio de ningún punto, salvo que conozcamos algún otro dato como puede ser la pertenencia de determinados puntos a un mismo plano definido en su situación y orientación. 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. Bastará para ello determinar las intersecciones de los dos haces proyectivos igual que hacemos con las mediciones de teodolito obtenidas desde dos estaciones (Fig 2).

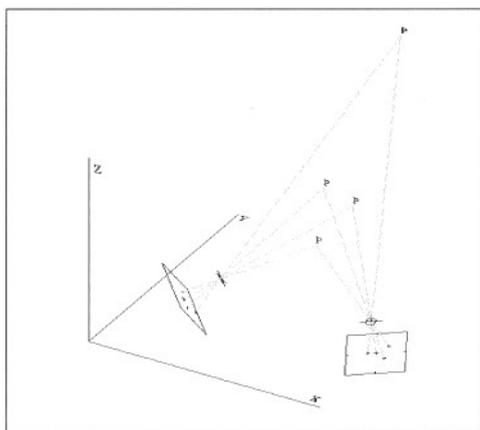


Figura 2. Determinación de la posición en el espacio a partir de dos perspectivas

Haciendo un poco de historia, la fotogrametría es una técnica que cuenta ya con una larga andadura. De hecho, como medio para realizar levantamientos lleva casi un siglo y medio, 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, y en particular 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. 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, quién 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 40x40 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 las direcciones de los ejes ópticos de la cámara en cada estación. Este método, muy laborioso y que exige trabajar con fotografías de gran formato, siguió empleándose hasta prácticamente la segunda Guerra Mundial, siempre en competencia con el método de la estereofotogrametría, que es el hoy universalmente utilizado. La ventaja del método de las intersecciones era que no precisaba de costosos aparatos de restitución, pues todo el proceso se hacía 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 separa-

ción 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 colocar una pequeña marca sobre cada imagen y poder identificar puntos homólogos en cada fotografía, gracias a que esas marcas se funden en una sola dentro de la visión estereoscópica (marca flotante). 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 presentaba el sistema de las intersecciones, que era la identificación de los puntos homólogos, es decir de los puntos que en cada imagen 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 de los puntos homólogos en el sistema referido al centro de la imagen. Conocidas estas coordenadas, mediante cálculo analítico se obtienen las coordenadas espaciales de los puntos medidos. Este sistema era más preciso que el de las intersecciones pero inicialmente resultaba igualmente laborioso y requería además un instrumento de precisión para realizar la medición.

En 1908, el oficial de ingenieros austriaco Von Ore construye el primer estereoautógrafo, es decir, un aparato de restitución que permitía el dibujo continuo y semiautomático. 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 determina 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 siguió por este camino con la utilización de los aparatos de restitución denominados analógicos, pues simulan la formación de las imágenes a base de los rayos perspectivas, 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 en tiempo real, 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. en una palabra, nos permite acceder a todas las posibilidades que nos brinda el CAD.

### **Cámaras de fotogrametría**

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 ésta cumpla una serie de requisitos para garantizar que sea una perspectiva lo más rigurosa posible. Esto exige el empleo de cámaras fotográficas especiales.

Hace años resultaba imprescindible el uso de las llamadas cámaras métricas. La característica más importantes de estas cámaras estriba en garantizar una geometría interna conocida e indeformable al poseer una óptica prácticamente exenta de distorsión, con su eje óptico rigurosamente perpendicular al plano de la imagen y con éste perfectamente plano además de conocer la distancia principal del objetivo con una gran precisión. Estas cámaras

resultaban de un elevado precio y de un uso bastante complicado aunque proporcionaban una alta precisión.

La utilización de restituidores analíticos y las posibilidades que ofrecen de corregir mediante software los errores sistemáticos debidos a la distorsión de los objetivos o a la deformación del negativo, propició el desarrollo de las denominadas cámaras semimétricas. Se trata de cámaras fotográficas de serie con óptica también de serie a las que se les practica una sencilla transformación consistente en la colocación en el fondo de la cámara, de una placa de vidrio con una retícula de cruces calibradas o retícula *reseau*, y se les crea posiciones de enfoque fijos mediante muescas o sistemas de bloqueo. Las cámaras se someten a un proceso de calibración en laboratorio que permite conocer su distancia principal para cada uno de los puntos de bloqueo del enfoque, así como la posición del punto principal referido a la retícula *reseau* y una fórmula que permite conocer el valor de la distorsión en función de la distancia al punto principal (distorsión simétrica). Como la retícula queda impresionada sobre la imagen fotográfica, es posible determinar las deformaciones que se produzcan en la película por simple comparación entre las cruces que aparecen en la imagen y los valores de la calibración de la *reseau*. Con todos estos datos, las mediciones de las coordenadas de imagen realizadas en el restituidor son corregidas directamente en tiempo real, teniendo en cuenta todos los factores antes mencionados. De este modo, y al tratarse de cámaras de serie modificadas, su precio es sensiblemente menor que el de las cámaras métricas.

La aparición y desarrollo de las cámaras digitales ha abierto un futuro nuevo ligado a la llamada fotogrametría digital, basada en el uso de imágenes fotográficas digitales. Las cámaras digitales tiene la ventaja de la permanencia inalterada de las imágenes en el tiempo, tanto a nivel cromático como dimensional. Por tanto, nos basta con realizar una calibración que nos proporcione la posición del centro de proyección y los parámetros de corrección de la distorsión para poder utilizarlas en aplicaciones fotogramétricas. No obstante, presentan el inconveniente de su baja resolución en comparación con las fotografías tradicionales de sales de

plata, cuyo grano es sensiblemente de menor tamaño que los píxeles de la mayor parte de los CDs. Esto hace que se utilicen aún imágenes digitales procedentes del scaneado de fotografías tradicionales. Para el uso de este procedimiento es necesario utilizar scaneres que garanticen un mínimo de precisión dimensional, pero estos instrumentos resultan en general bastante caros.

En nuestra experiencia hemos trabajado con una cámara Nikon Coolpix 700 (Fig 6), que aunque es autofocus, permite bloquear el enfoque en posiciones fijas. La resolución de esta cámara es de 1600x1200 píxeles (2Mpíxeles). Los resultados han sido muy satisfactorios, pese a su limitada resolución. Las cámaras han sido calibradas con el programa Orient del Institute of Photogrametry and Remote Sensing de la Technical University de Viena. Más recientemente estamos utilizando una cámara Nikon Coolpix 5000 de 2560x1920 píxeles (5 Mpixels). Este aparato, al disponer de zoom, es menos apropiado por la mayor distorsión que genera el objetivo y su menor estabilidad. No obstante, los resultados obtenidos han sido igualmente muy positivos, sobre todo por la notable mayor resolución de las imágenes.

### **La toma de datos fotogramétrica**

#### *Elementos a considerar en la toma fotográfica para fotogrametría estereoscópica*

Lo primero que hay que considerar es la escala a la que se desea hacer la restitución que estará en relación con la precisión, detalle y densidad de información que se quieran obtener. La escala del dibujo no deberá ser nunca mayor de 10 veces la escala del negativo. La escala del negativo viene determinada por la focal del objetivo utilizado y por la distancia desde la cámara al objeto.

En función de la distancia y del objetivo utilizado se obtendrá un campo visual. Con estas variables debe hacerse la elección del objetivo a utilizar. Resulta una forma muy adecuada de planificar la toma fotográfica realizar sobre papel transparente una plantilla con el ángulo visual del objetivo, analizando sobre una planimetría existente, aunque sea aproximada, la mejor forma de realizar las tomas y la posición mas conveniente de las estaciones.

En el caso de cámaras semimétricas, la cámara puede operarse bien sobre un trípode, lo que facilitará la orientación aproximada y la nivelación de la cámara o también a pulso. En este caso la nivelación resulta mas problemática, pero si disponemos de puntos fijos de apoyo, esto no supondrá ningún inconveniente.

La base (distancia entre los puntos de toma de un par de fotografías estereoscópicas) debe de estar en una relación con la distancia al objeto entre 1/3 y 1/10. No es recomendable llegar al primer valor si el objeto tiene mucho relieve, so pena de tener luego dificultades en la visión estereoscópica. Con la relación de 1/10 la apreciación de la profundidad y por tanto, la precisión de la medición puede resultar insuficiente. Un valor medio recomendable puede ser el de 1/5.

Las dos fotografías de un par deben tener la misma escala aproximada. Por ello deben tomarse a igual distancia del objeto y con los ejes paralelos. Una ligera convergencia puede admitirse e incluso beneficia la precisión, pero si ésta es muy grande se obtienen diferencias de escala en los extremos de ambas fotografías, incompatible con una correcta visión estereoscópica. Una convergencia máxima admisible es la que se produce con un ángulo de 15E entre los ejes ópticos de las dos fotografías.

La toma ideal es la que tiene los planos de los negativos paralelos al plano de proyección de la restitución. No hay limitación en principio para inclinar el eje de la cámara hacia arriba o abajo, o incluso hacia la derecha o izquierda. En estos casos debe procurarse que las dos tomas tengan similares inclinaciones. No obstante, debe tenerse en cuenta que en las zonas mas alejadas, la escala es menor y también resulta menor la relación base/distancia, por lo que la precisión de la medición en esas partes se verá mermada. Debe considerarse igualmente que en estos casos la restitución es también mas laboriosa al no ser paralelos los planos del objeto y de la proyección.

En el momento de hacer las tomas fotográficas deben anotarse los valores aproximados de la distancia al objeto, la base y la inclinación de la cámara. Igualmente, en el caso de utilizar una cámara

no métrica, es fundamental anotar el objetivo y la posición del enfoque utilizados, ya que en las cámaras no métricas no se registra el dato de la distancia principal sobre el negativo.

#### *Procedimientos para apoyar las fotografías*

Para poder restituir un par de fotografías debemos contar, además de con éstas, con sus datos de orientación, o lo que es lo mismo, debemos conocer las posiciones desde donde fueron tomadas las fotos, en forma de sus tres coordenadas X Y Z y los tres ángulos de giro de la cámara, S M K ( " 1 K en el caso de fotogrametría terrestre) respecto al sistema de referencia para cada posición.

Estos valores pueden obtenerse, bien directamente, midiéndolos en el momento de realizar las tomas fotográficas, o bien indirectamente mediante la medición de puntos de apoyo. Este último procedimiento es el mas habitual y el que proporciona mejores resultados de precisión.

Los datos de orientación pueden calcularse en el restituidor si conocemos las tres coordenadas (x, y, z) de al menos cuatro puntos bien visibles en cada par de fotografías. Las coordenadas de estos puntos se miden normalmente por medio de un taquímetro o teodolito, bien por radiación o bien por intersección de visuales.

Los puntos de apoyo deben de elegirse de tal modo que la zona a restituir quede comprendida dentro de un perímetro cuyos vértices sean dichos puntos. Los puntos de apoyo pueden preseñalizarse y medirse previamente a la obtención de las fotos o pueden ser simples puntos del objeto que se miden a la vez o después de obtenidas éstas. En ambos casos habrá de tenerse especial cuidado en que los puntos puedan ser fácilmente identificados en ambas fotografías.

Por último, conviene tener en cuenta las posibilidades que el CAD nos ofrece en cuanto a la definición de planos de proyección, ajuste de escala y transformación de coordenadas. Siempre que podamos definir libremente el sistema de coordenadas, podremos prácticamente prescindir de un apoyo a base de puntos definidos con sus tres coorde-

nadas. Nos bastará con conocer una longitud dentro del objeto, que nos permita darle escala, y determinar la relación entre el edificio y la dirección vertical del espacio, único elemento de referencia que siempre es inamovible en la representación arquitectónica. Esta referencia puede quedar definida por una simple plomada o línea vertical que aparezca en las fotografías, o mediante la nivelación de tres puntos.

## Sistemas de Restitución

Existen diversos procedimientos para calcular las posiciones de los puntos que queramos medir a partir de fotografías. Básicamente podemos resumirlos en procedimientos de imagen única y de imágenes múltiples y dentro de cada uno aun podremos distinguir procedimientos gráficos, procedimientos analógicos y procedimientos analíticos.

### Uso de imágenes únicas

Dentro de las distintos métodos de explotación de las fotografías, la primera utilización posible es a base de fotografías únicas, que servirán como documentos de medición siempre que se den una serie de circunstancias. En primer lugar, que el objeto que queramos medir sea plano o sensiblemente plano. En el caso de la arquitectura, podremos utilizar esta posibilidad aplicada a fachadas planas en las que los elementos volados, como cornisas o balcones tengan poca entidad. Dos tipos de documentos podremos obtener a partir de fotos únicas: Fotografías a escala también llamadas fotoplanos y dibujos. Para la obtención de fotografías a escala se utilizaban, antes del desarrollo de la fotografía digital, ampliadoras rectificadoras especiales, que de todos modos tenían fuertes limitaciones en cuanto al ángulo de inclinación con que se hubiera hecho la fotografía. También se pueden realizar dibujos mediante procedimientos gráficos, aunque hay que advertir que todos estos sistemas han quedado totalmente obsoletos.

Hoy en día, fotografías incluso con fuertes ángulos de inclinación pueden rectificarse mediante tratamiento digital de imágenes. Las imágenes rectificadas pueden imprimirse con una impresora ras-

ter o servir de base para obtener dibujos vectoriales digitalizando en la propia pantalla mediante un programa de CAD superpuesto. 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 trascendencia. Los elementos planos abundan en la arquitectura (fachadas y pavimentos) y las imágenes rectificadas constituyen un medio sencillo y rápido para su documentación.

Otra de las posibilidades actuales de explotación de imágenes únicas nos la brindan algunas aplicaciones que funcionan dentro de un programa de CAD para la restitución de puntos situados todos ellos en un mismo plano. Basta conocer las coordenadas de cuatro puntos del plano y digitalizar esos mismos puntos sobre una ampliación de la fotografía fijada sobre una tableta digitalizadora. Con estos datos, el programa calcula la posición del plano y la orientación de la foto o simplemente establece una función de transformación perspectiva, que nos permite calcular a partir de las coordenadas de imagen, las coordenadas del objeto. A continuación, cualquier nuevo punto que digitalicemos en la fotografía y que se encuentre en dicho plano será directamente calculado y vectorizado en el programa CAD en su verdadera posición.

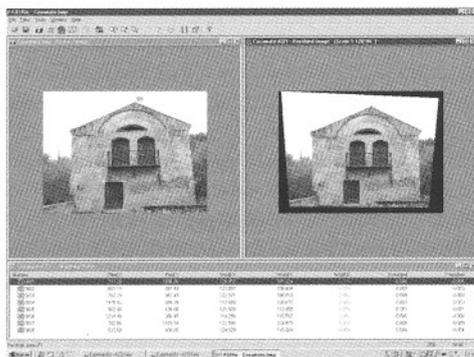


Figura 3. Programa de rectificación ASRix

El software de rectificación **ASRix** es un programa de muy fácil manejo que apenas requiere de aprendizaje y proporciona unas posibilidades enormes en todos los campos de la documentación del

patrimonio (Fig 3). Para realizar una rectificación fotográfica basta con disponer de una imagen digital del elemento plano, aunque sea oblicua, y conocer las coordenadas planas (x,y) de al menos 4 puntos. Estas coordenadas pueden obtenerse mediante procedimientos topográficos o con simples mediciones directas realizadas con cinta métrica, eso sí, triangulando convenientemente el cuadrilátero definido por los cuatro puntos. A partir de estos datos obtenemos una imagen rectificada, o lo que es lo mismo, una imagen a escala en la que podremos medir como si se tratara de un plano, aunque contendrá toda la información de una fotografía. Sobre esta imagen, una vez importada en AutoCAD, podremos dibujar, interpretar, etc. e imprimirla en cualquier periférico adecuado. Este sistema se puede complementar con otros de rectificación de dibujos. El programa VSD, del que hablaremos a continuación, cuenta con un sistema de restitución de fotos individuales que permite rectificar lo dibujado sobre las imágenes oblicuas. Por su simplicidad y mínimo costo merece citarse también el programa **Homograf** desarrollado por el Prof. Ramón Maestre de la Universidad de Alicante. En un pequeño libro que incluye el software, se presenta esta sencilla aplicación que funciona dentro de AutoCAD 14 y que permite de un modo simple rectificar los dibujos realizados sobre imágenes oblicuas (Fig 4).

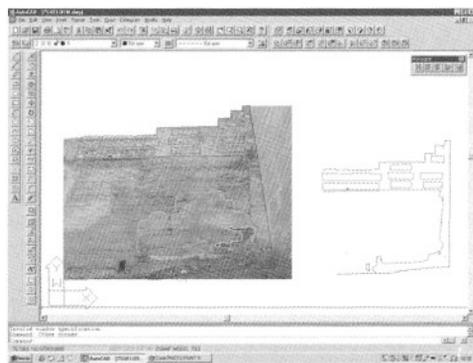


Figura 4. Aplicación Homograf para AutoCAD

#### *Restitución con varias imágenes*

Existen distintos procedimientos para realizar la medición tridimensional (lo que se denomina restitución) y a partir de ella representar el objeto.

Dentro de estos sistemas podemos distinguir varios procedimientos aunque el más extendido se basa en el empleo de pares de fotografías estereoscópicas que requieren el uso de aparatos de restitución que pueden ser analógicos, ya en desuso, analíticos o sistemas digitales.

Existen, no obstante, procedimientos de restitución analítica consistentes en colocar ampliaciones de las fotografías sobre una tableta digitalizadora o fotos digitales en la pantalla del ordenador e ir digitalizando puntos homólogos siguiendo las instrucciones del programa. Estos sistemas cuentan con procedimientos para corregir las deformaciones de la imagen debidas a distorsión, deformación de la película y deformaciones de las ampliaciones. Al no utilizarse la visión estereoscópica como auxilio para la determinación de los puntos homólogos, con estos procedimientos se pueden utilizar más de dos fotografías que además pueden estar tomadas con ángulos convergentes entre sí. De este modo se aumenta notablemente la precisión de las mediciones. Generalmente estos sistemas funcionan dentro de un entorno de CAD, de tal forma que constituyen en realidad sistemas de digitalización en 3D aplicados al programa de CAD.

Los sistemas estereoscópicos son los que proporcionan una mayor productividad merced a la comodidad en la identificación de puntos homólogos. Inicialmente los instrumentos analógicos usaban sistemas ópticos o mecánicos como ya se ha explicado, aunque las grandes limitaciones en cuanto a los giros de las imágenes han provocado su desuso.

En la actualidad, la mayor parte de los instrumentos de restitución se basan en el cálculo analítico de las coordenadas del objeto a partir de las coordenadas de las imágenes. Es fácil deducir que las relaciones geométricas que existen entre los haces de direcciones de cada una de las dos imágenes y los puntos del objeto pueden establecerse de forma matemática. En los aparatos analíticos, 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 determinan 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.

Este sistema, conocido desde los primeros tiempos de la fotogrametría, presentó siempre el inconveniente de lo engorroso y lento de los cálculos que hay que realizar para cada punto. Este inconveniente limitó notablemente la utilización de los métodos analíticos hasta que los ordenadores permitieron efectuar dichos cálculos en tiempo real. En estos sistemas no existe limitación alguna en cuanto a las distancias focales utilizadas, ni en lo referente a giros o inclinaciones de las cámaras. Las coordenadas obtenidas en el ordenador pueden introducirse como datos directamente en cualquier sistema de diseño asistido (CAD) y por tanto proyectarse en cualquier sistema de proyección y a cualquier escala. Por otro lado, la enorme velocidad de cálculo de los ordenadores permite corregir mediante software errores sistemáticos de las imágenes producidos por deformaciones del soporte fotográfico o por distorsión del objetivo, lo que hace posible la restitución de fotografías obtenidas con cámaras convencionales en lugar de con las más costosas cámaras métricas. Por ello hoy en día es el procedimiento más extendido y que ha dejado en completa obsolescencia a los procedimientos analógicos.

En la práctica, la 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 distintos procedimientos según los sistemas. dos manivelas y un volante accionado con un pie, palancas o joysticks, ratón y teclas, o dos ratones. Con un pedal accionado con el pie o con teclas o botones del ratón marca el comienzo y el final de las líneas que va restituyendo. Al ir desplazando la marca métrica sobre el objeto "tocándolo", el sistema va calculando en tiempo real las coordenadas tridimensionales de la marca y por tanto de todos los puntos por los que va pasando.

En la actualidad prácticamente todos los sistemas fotogramétricos están interconectados con sistemas de CAD, de tal modo que el restituidor se limita exclusivamente a facilitar las tres coordena-

das del punto señalado realizándose todas las operaciones de codificación y posterior edición dentro del programa CAD. De esta forma, el restituidor se convierte en un digitalizador de tres dimensiones, que a diferencia de la tableta digitalizadora que solo suministra dos coordenadas, aquél transmite al programa de CAD las tres coordenadas cartesianas de todos los puntos que se vayan señalando. De esta forma el modelo digital tridimensional se va generando en tiempo real y el programa de CAD permitirá después su representación en la proyección que se desee y a la escala que se requiera. De esta forma, la fotogrametría facilita de forma sencilla y precisa la generación de un modelo digital de cualquier objeto, edificio o espacio que pueda ser fotografiado desde distintas posiciones, permitiéndose de este modo su representación en cualquiera de los sistemas posibles. La obtención de información métrica la facilita el propio programa bien mediante las herramientas de que está provisto, come mediante el listado de los datos de las distintas entidades que integran el modelo y que se expresan siempre en formato digital de coordenadas. Generalmente los programas como AutoCad proporcionan junto con las coordenadas de los puntos definidores de la entidad otros datos tales como diferencia de coordenadas, longitud real, longitud en proyección, área encerrada, etc. Todo esto abre indudables posibilidades, especialmente en el campo de la representación de la arquitectura ya construida.

Los instrumentos analíticos supusieron un avance notable respecto a los analógicos al prescindir de la mayor parte de sus componentes mecánicos que limitaban, y sobre todo encarecían, aquellos aparatos. Pero estos instrumentos siguen siendo de elevado costo pues aún requieren el uso de partes ópticas y mecánicas de alta precisión.

La fotogrametría digital ha vuelto a romper estas limitaciones abriendo un nuevo panorama con posibilidades de costos mucho más reducidos y un uso simple y de fácil aprendizaje. Las ventajas que ofrecen las imágenes digitales al convertir en matrices numéricas las imágenes fotográficas, suponen la eliminación de todo tipo de dispositivo mecánico y óptico para la medición y la observación y con ello la desaparición de los errores e imprecisiones inherentes a todo dispositivo mecá-

nico. La utilización de hardware standard, cuyo coste se ve reducido de día en día mientras mejora su capacidad de almacenamiento y la velocidad de manejo de datos, ha supuesto por otro lado desligarse de instrumentos de fabricación específica los cuales son necesariamente más caros. La proliferación de aplicaciones fotogramétricas está generando además una competencia antes prácticamente inexistente en la producción de restituidores analógicos y analíticos, abriendo una nueva opción a una reducción de los precios que debería conllevar a su vez una mayor utilización de estos sistemas.

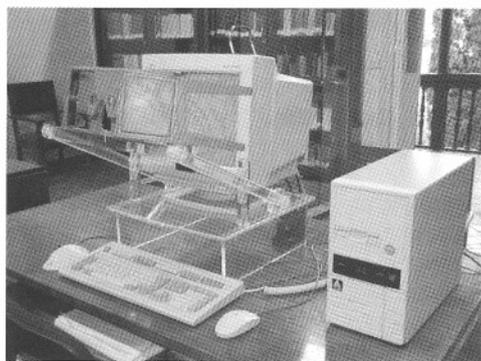


Figura 5. Sistema de restitución VSD

El sistema de restitución estereoscópica **VSD**, producido por el Department of Photogrammetry and Remote Sensing Informatics de la Universidad AGH de Cracovia (Polonia) (Jachimski 1995) constituye una respuesta inteligente a la necesidad de disponer de sistemas de bajo coste pero alta calidad para la documentación del Patrimonio Cultural. La potencial demanda existente para estos sistemas es grande por el hecho de que en el campo del patrimonio arquitectónico existe una gran necesidad de documentación imposible de ser atendida de modo adecuado mediante sistemas tradicionales. El VSD proporciona una respuesta real a estas posibilidades y ofrece soluciones útiles al problema de la documentación de nuestro patrimonio arquitectónico y arqueológico.

El Vídeo Digitalizador Estéreo (VSD) de AGH es un estereorrestituidor concebido para la producción de dibujos vectoriales a partir de pares de

imágenes fotogramétricas digitales en blanco y negro o color (stereopares u ortoestereopares). El VSD admite imágenes de CCD (cámaras digitales), imágenes de scanner o imágenes escaneadas de satélite, y fotogramas aéreos o terrestres. El restituidor VSD puede usarse para evaluación de mapas topográficos y puede servir igualmente para levantamientos de planos de monumentos históricos arquitectónicos, de arte mueble o levantamientos arqueológicos. Los distintos elementos se restituyen a partir de un par de imágenes digitales visibles en la pantalla SVGA del PC en visión tridimensional merced a un estereoscopio montado frente a ésta (Fig 5). Dichos elementos son seleccionados por la persona que opera el sistema por medio de dos cursores movidos por uno o dos ratones y que se visualizan también como un cursor con movimiento tridimensional en el espacio. Los puntos seleccionados pueden unirse mediante líneas poligonales. Las curvas irregulares pueden restituirse (digitalizarse) mediante el registro de la trayectoria del cursor. Los polígonos y trayectorias vectoriales aparecen sobreimpuestos sobre las imágenes en la pantalla del PC en un color seleccionado en función de la capa a que hayan sido asignados entre las distintas definibles por el operador. Los dibujos digitales se guardan en código DXF legible por programas de CAD y en código binario (formato VSD). El Vídeo Digitalizador Estéreo de AGH puede usarse igualmente como comparador mono o estéreo para la medición de imágenes digitales con la precisión de una fracción del pixel de la pantalla.

Nuestra experiencia nos ha hecho confiar en este sistema y desde que tuvimos conocimiento de su existencia hemos trabajado para mejorar sus aplicaciones y difundir su uso (Almagro 2000b). Con su creador, el Prof Jachimski mantenemos un contacto directo poniendo en común experiencias y necesidades y analizando la forma más adecuada de atenderlas. Gran parte de nuestras sugerencias han sido entendidas y atendidas por el Prof. Jachimski, poniéndolas en práctica mediante mejoras en el programa. Esto nos permitió empezar a promover su uso entre colegas que venían a solicitar nuestra opinión o ayuda para iniciarse en el campo de la fotogrametría. La demanda que de esta forma se generó nos obligó a avanzar en nuestra colaboración con el Department of Photogramme-

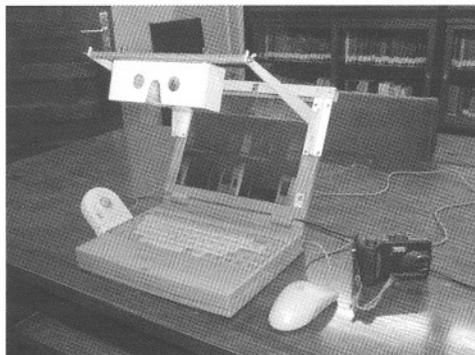
try and Remote Sensing Informatics de la Universidad AGH, a fin de adecuar mejor el programa a las necesidades que se planteaban. Una de las primeras acciones emprendidas fue la traducción completa de todos los mensajes del programa al español completando incluso al mismo tiempo la traducción al inglés. Esta simple actuación facilitó la aceptación de este sistema entre los colegas españoles, especialmente en sus aplicaciones docentes al facilitar el aprendizaje y uso disponiendo de una versión, tanto del programa como del manual de uso, enteramente en español. También es de resaltar la implementación de un procedimiento para la orientación de modelos sin utilizar puntos de control sino sólo observaciones en el objeto para definir los planos de referencia y la medición de al menos una distancia para dar escala al modelo. Este procedimiento permite realizar levantamientos sencillos con una gran simplificación de los medios utilizados, con el consiguiente ahorro de coste y, sobre todo, de tiempo de trabajo en el campo.

El programa ha tenido una acogida especialmente buena en el campo de la enseñanza. Más de la mitad de las 25 licencias actualmente instaladas en España están siendo empleadas en la enseñanza de fotogrametría a alumnos de arquitectura o de topografía y fotogrametría. Las características del programa lo hacen especialmente indicado para esta función docente, ya que además de la sencillez de su manejo y de facilitar la comprensión de los principios de la fotogrametría, permite al profesor controlar perfectamente el trabajo del alumno y el correcto seguimiento tridimensional del modelo.

El sistema está siendo utilizado por profesionales o instituciones dedicados al estudio o a la restauración del Patrimonio Arquitectónico. En todos los casos las personas que manejan el software y realizan las restituciones no son especialistas en fotogrametría y se han iniciado en esta técnica de la mano del sistema VSD. Esto es una clara prueba de la facilidad de aprendizaje, comprobada también a través de los cursos de formación en técnicas de levantamiento impartidas para arquitectos en la Escuela de Arquitectura de Granada, en los que, pese a la brevedad del tiempo disponible, los alumnos son capaces de realizar restituciones de

cierta complejidad.

La demanda creciente de licencias del VSD nos ha obligado a atender la necesidad de suministrar los correspondientes estereoscopos para la observación tridimensional del modelo sobre la pantalla. Hemos acudido al uso de estereoscopos en venta en el mercado, construyendo soportes adecuados para su utilización frente al monitor (Fig 5). Posteriormente decidimos también buscar una solución sencilla y económica adaptada a la utilización del VSD en ordenadores portátiles (Fig 6). El diseño se basa en la sencillez y robustez de los distintos elementos así como en el uso de materiales de fácil adquisición y manipulación.



*Figura 6. Sistema VSD en ordenador portátil y cámara digital*

## CONSIDERACIONES FINALES

Debemos insistir finalmente en que la fotogrametría no es más que una técnica de medición y que todos estos instrumentos y sistemas solo son 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 en cuanto a expresión gráfica, va a depender en todo caso 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 interpretación del operador que maneje el sistema de restitución.

No hay que olvidar por otro lado que durante muchos años la difusión de la fotogrametría como técnica de documentación del patrimonio arquitectónico ha estado basada fundamentalmente en la mayor precisión que ofrece frente a las técnicas tradicionales, excluyendo las topográficas. El antagonismo entre estas técnicas tradicionales y las instrumentales se ha planteado en la antítesis precisión-costo, lo que ha llevado a un estancamiento en el desarrollo de las aplicaciones fotogramétricas al verse circunscritas a aquellas en que es necesario lograr unas determinadas precisiones siempre que sea posible pagar su elevado costo.

De algunas experiencias realizadas con instrumentación de fotogrametría no convencional sobre fachadas de tamaño medio (hasta 15 m de altura) podemos deducir algunos datos interesantes. Comparando las restituciones fotogramétricas con levantamientos realizado con medios manuales se aprecia que en aquellas partes en que ha sido posible medir con la cinta métrica, los dibujos coinciden. Sin embargo, aparecen errores de cierta con-

sideración en las zonas inaccesibles y en la ubicación de elementos que están en distintos planos y para los que no se ha realizado una nivelación que los relacione. En general se aprecian errores notables en los vuelos extremos de las cornisas y en las partes altas de las fachadas a las que resulta imposible acceder para medir.

Los errores cometidos en la medición con medios manuales, si se realizan con poca minuciosidad, resultan muchas veces excesivos incluso para una escala 1/100. A pesar de ello, el tiempo de toma de datos suele ser notablemente largo. La toma de datos con una cámara semimétrica y apoyo completo con taquímetro puede reducir el tiempo de toma de datos en más de un 50 % del tiempo necesario usando medios manuales, pero además se logra una notable mayor precisión. La toma de datos con un apoyo reducido logra un ahorro considerable de tiempo (hasta solo un 5 % del tiempo de la toma manual y 20 % del tiempo requerido haciendo un apoyo completo) sin aumentar excesivamente los errores. En cualquier caso, la precisión lograda es más que suficiente para dibujos a escala 1/100. Se considera además que el tiempo de restitución puede suponer entre un 50 y un 70 % del tiempo necesario para dibujar en limpio una medición manual.

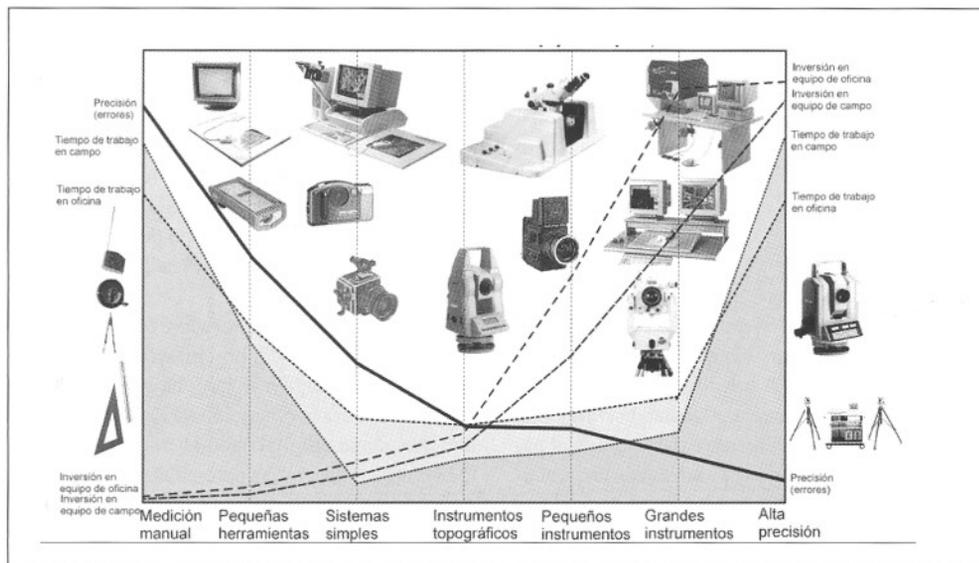


Figura 7. Optimización de los sistemas de levantamiento de arquitectura.

Utilizando sistemas digitales, conservamos gran parte de las ventajas apuntadas y además conseguimos una reducción muy apreciable de los costos de los equipos. Con instrumentos cuyo costo es del orden de un 10 %, o incluso menor, del de los instrumentos inicialmente utilizados en fotogrametría (cámaras métricas, taquímetro y restituidores analíticos) y con tiempos de toma de datos inferiores en un 90 % a los necesarios trabajando con cámaras métricas y apoyo taquimétrico, algunos sistemas simplificados de fotogrametría permiten adecuar el costo de un levantamiento a las necesidades de precisión requeridas en la mayor parte de las intervenciones sobre el Patrimonio. La fotogrametría deja de ser una técnica sofisticada y costosa para ponerse al alcance de cualquier institución o profesional con responsabilidades sobre los bienes culturales.

En el gráfico de la figura 7 se han tratado de representar las relaciones entre coste de inversión, tiempo de realización y precisión de los distintos sistemas de medición. Se evidencia claramente la existencia de una zona de optimización de los sistemas en su relación prestaciones-costos que corresponde a lo que podemos entender como sistemas simples de fotogrametría que intentamos definirlos como aquellos que requieren inversiones reducidas (<6000 ₪) y procedimientos de operación de fácil aprendizaje. Estos sistemas, bien sean estereoscópicos, con medición monoscópica o de rectificación fotográfica, permiten resolver un número considerable de los casos que se presentan en la documentación del patrimonio, sin que en absoluto supongan descartar los sistemas más sofisticados y la participación de especialistas en aquellos que por su envergadura o su complejidad así lo requieran.

La gran oportunidad que hoy se ofrece en el campo de la documentación del patrimonio es el disponer finalmente de sistemas de costo muy razonable y con manifiestas posibilidades de verlo reducido aún más si existe una demanda suficiente. Esa demanda potencialmente existe porque el patrimonio está necesitando una adecuada documentación que es imposible garantizar con los medios tradicionales disponibles. Donde hoy reside realmente el problema es en la formación de las personas que sean capaces de operar estos sistemas.

Y para que esta formación se pueda alcanzar debe existir previamente una concienciación de esas mismas personas y de aquellas que tienen bajo su responsabilidad, en los distintos niveles, la tutela y conservación del patrimonio. La fotogrametría debe difundirse y enseñarse, no ya como un sistema sofisticado y complejo que requiere de instrumentos costosos y de técnicos especializados, sino como algo asequible, no más complejo ni costoso que tantas aplicaciones informáticas cuyo uso se encuentra ampliamente difundido. Fotogrametría debería no solo ser sinónimo de precisión sino, sobre todo, de rapidez y eficacia en la documentación, de un sistema idóneo para generar modelos 3D en CAD, de posibilidad de crear bases de datos, de ofrecer soluciones eficaces en acciones de emergencia, etc.

Como ejemplo de lo que hoy disponemos y de lo que con ello es factible hacer presento a continuación los sistemas más elementales de documentación planimétrica informatizada que, en mi caso personal, se sintetizan en tres programas básicos de aplicación específica para realizar levantamientos a los que se añaden otros programas estándar de dibujo y tratamiento de imágenes de uso común. En primer lugar utilizo un programa escrito por mí mismo para el cálculo de mediciones topográficas que permite el cálculo de poligonales, intersecciones y radiaciones, transformaciones de coordenadas y dibujo de los puntos calculados en AutoCAD. El segundo programa que utilizo es el rectificador de imágenes para la realización de fotoplanos de superficies planas (alzados, pavimentos,...), ASRix mencionado anteriormente. El tercer software es el programa de restitución estereoscópica y tridimensional VSD, basado en la visión mediante un estereoscopio de los pares presentados en la pantalla del ordenador.

Todo este software funciona sobre ordenadores PC sencillos, incluso sobre portátiles, lo cual facilita el trabajo en cualquier lugar y bajo cualquier circunstancia. Para la obtención de las imágenes utilizo una cámara digital aunque en ocasiones también empleo fotografías obtenidas con cámara semimétrica que posteriormente son escaneadas.

Este equipo se apoya en dos ideas básicas: que resulta de manejo sencillo, y por tanto de fácil aprendi-

dizaje, y que permite trabajar con un mínimo de instrumentos en campo y de manera rápida, permitiendo reducir de forma notable el trabajo a desarrollar fuera de la oficina. A ello se suma un costo reducido no superando los 6000 euros en conjunto. Se parte de la base de que los instrumentos topográficos no precisan ser adquiridos, pues pue-

den alquilarse en muchos sitios a costos muy razonables. Además, algunos de los métodos seguidos tratan de evitar el recurso a mediciones topográficas lo que simplifica los procedimientos y el equipo necesario. Todos ellos se ubican en la columna que denomino como "sistemas simples" en el diagrama antes presentado.

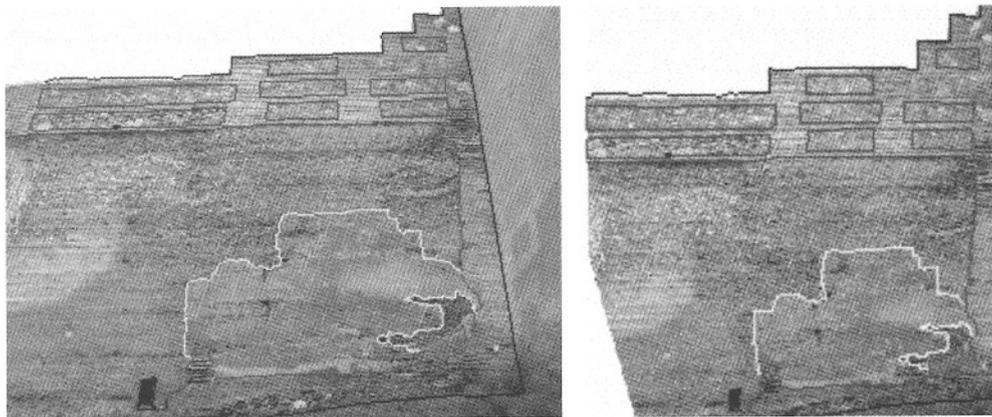


Figura 8. Rectificación de un lienzo de muralla de la Alhambra.

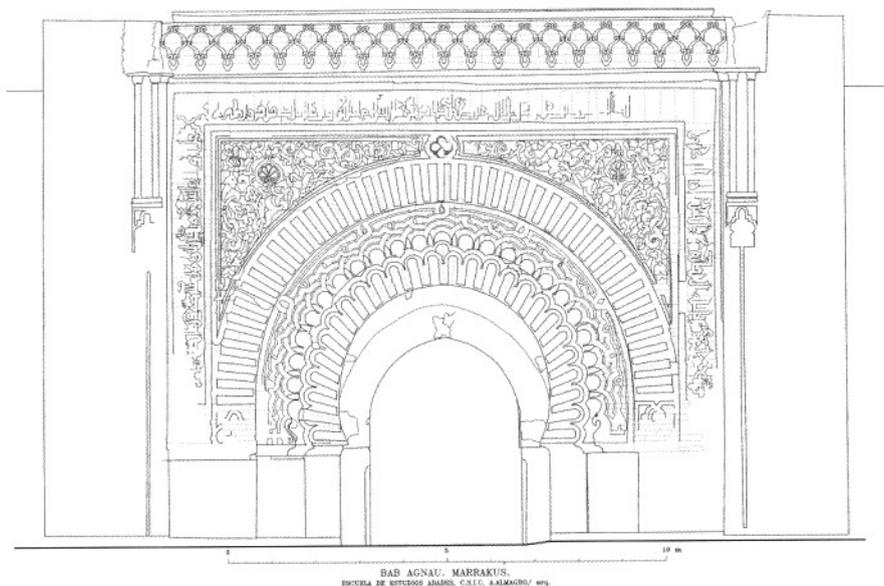


Figura 9. Restitución de la Bab Agnau de Marrakech.

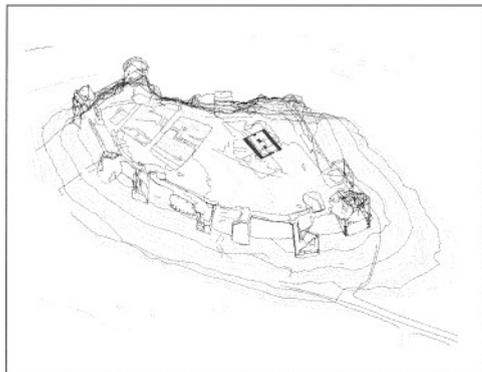


Figura 10. Restitución tridimensional del castillo de Píñar.

Además, hemos trabajado para combinar todos estos componentes en la puesta a punto de un sistema fotogramétrico portátil, susceptible de ser transportado y utilizado en cualquier sitio, y con enormes posibilidades de uso especialmente en el campo de la arqueología.

Para este fin utilizamos un ordenador portátil, con un estereoscopio de los ya descritos fijado de modo adecuado a su pantalla y una cámara digital (Fig 6). Este sistema permite obtener las imágenes, transferirlas al ordenador, transformarlas para su uso con el VSD y proceder a la restitución sin depender de ningún laboratorio fotográfico ni de otro medio fuera de lo antes descrito. Este sistema, ya suficientemente experimentado, constituye a nuestro entender una revolución en las posibilidades de aplicación de la fotogrametría, con unos costes perfectamente asumibles dentro de un proyecto arqueológico y que permite un ahorro enorme de tiempo de trabajo en la documentación de campo.

Como ilustración de lo que se puede lograr con este sencillo equipo, presentamos algunos trabajos realizados con estos procedimientos. En primer lugar, una rectificación realizada con el programa ASRix por los alumnos de la asignatura de levantamiento de edificios de la Escuela de Arquitectura de Granada correspondiente a un lienzo de la murallas de la Alhambra. Se han superpuesto la rectificación fotográfica realizada con ASRix y la del dibujo lograda con Homograf (Fig

8). La puerta Bab Agnau de Marrakech (Marruecos) (Fig 9) se ha levantado a partir de dos pares estereoscópicos tomados con una cámara digital de 2 Mpixels. Como medidas de control se tomaron dos distancias, comprobándose visualmente que los muros eran verticales. El tiempo de toma de datos puede estimarse en apenas diez minutos. La restitución se ha realizado con el programa VSD. Un trabajo de mayor envergadura, en el que se ha recurrido al uso de un teodolito con distanciómetro es el del castillo de Píñar (Granada). En este caso, la toma de datos supuso unas 6 horas de trabajo. Se han combinado restituciones de fotogrametría aérea con otras de fotogrametría terrestre y rectificaciones fotográficas de algunos paramentos de murallas (fig 10).

### INFOGRAFÍA VIRTUAL, UNA NUEVA FORMA DE REPRESENTACIÓN

La informática ha puesto a nuestra disposición en los últimos años unos nuevos y poderosos instrumentos de visualización y representación que constituyen una revolución en el campo de la investigación del Patrimonio, al igual que lo son en otros muchos. Los sistemas de CAD ya permitieron al final de los años ochenta trabajar con auténticas representaciones tridimensionales, aunque por mucho tiempo se trataba solo de objetos constituidos por líneas o "alambres". Con las primeras versiones que permitían trabajar con planos y después con sólidos y daban la posibilidad de "iluminar", aunque fuera rudimentariamente, estos objetos, se dió un paso cualitativo importante. Hoy, la capacidad que ofrecen los programas de renderización al permitir incorporar texturas, cualquier tipo de iluminación e incluso los efectos de "radiosidad", hacen de ellos unos útiles con una potencialidad impensable hace pocos años y que nos dan acceso a un sistema nuevo de "representación".

Las posibilidades que ofrecen los programas de infografía son enormes. Visualización de vistas perspectivas desde cualquier ángulo y condición, recreación de distintos estados o distintas soluciones, bien sea de formas volumétricas como de texturas, colores o iluminación, animaciones o visiones panorámicas, etc. también brinda la oportunidad de construir sistemas interactivos con partici-

pación del usuario en la elección de las distintas soluciones. La capacidad de recrear objetos, sobre todo arquitectónicos, que hayan sufrido grandes transformaciones o incluso ruina y desaparición constituye una de las más interesantes aplicaciones a las que se puede recurrir mediante los sistemas infográficos. Siendo el objetivo de los estudios arqueológicos el análisis de la cultura material, y constituyendo la arquitectura una de las expresiones más importantes y significativas de esta cultura, las posibilidades de recrear visualmente estos restos cuando han sufrido grandes transformaciones, a veces difíciles de imaginar, supone claramente una ayuda potencial en nuestros trabajos.

Todos estos instrumentos tienen múltiples aplicaciones que podemos considerar dentro de dos grupos generales. Una sería el de facilitar la reflexión y la investigación sobre el patrimonio arquitectónico desaparecido. La recreación virtual obliga a considerar el elemento en toda su extensión, a plantearse soluciones para todos sus detalles y componentes y a reflexionar a la vista de las imágenes sobre nuestras hipótesis finales y por tanto, de trabajo. Nuestra experiencia a este respecto ha sido muy interesante. Desde hace algo más de dos años, en el grupo de investigación sobre Arquitectura Islámica de la Escuela de Estudios Árabes hemos venido recurriendo a estos métodos tratando de dar forma a nuestras presunciones y de revisar los resultados como modo de profundizar en la investigación. Este procedimiento nos ha obligado en varias ocasiones a reconsiderar supuestos o a abordar cuestiones que no se habían siquiera planteado. En algunos casos ha servido para visualizar distintas soluciones y discutir sobre ellas, no solo como hipótesis sobre el estado original, sino como propuestas de restauración. En este sentido, estos sistemas evitan cometer errores de difícil, o cuando menos costosa corrección ya que no afectan para nada al edificio u objeto y puede considerarse por tanto como un método absolutamente "reversible".

Otra de las grandes aplicaciones de estos sistemas es la difusión de la información. Los métodos tradicionales de representación, mediante plantas, alzados y secciones siempre han resultado poco inteligibles para personas sin conocimientos ni experiencia sobre los sistemas de representación.

Las perspectivas, muchos más fáciles de entender, eran antes laboriosas de realizar y por tanto se recurría a ellas de manera limitada debido a su elevado coste. No siempre se acertaba con los puntos de vista más adecuados pero por la causa antes aludida raramente se revisaban. Ello hacía que los frutos de la investigación no quedaran accesibles al público en general, no cumpliéndose con ello uno de los objetivos fundamentales de la investigación, cual es hacer llegar a la sociedad los avances del conocimiento que se van logrando. No cabe duda de que éste es uno de los campos que más interés ofrece y uno de los que más rentabilidad social puede aportar, hasta el punto de hacer pensar que en un futuro cercano resulte casi obligado recurrir a estos instrumentos para dar a conocer los resultados de nuestras investigaciones.

Sin embargo, el desarrollo de la aplicación de estos sistemas merece una investigación y reflexión específica. Disponemos de instrumentos hasta ahora casi desconocidos y su correcto uso puede dar magníficos resultados, pero un empleo inapropiado también puede generar productos inadecuados y, con ello, reacciones negativas. A este respecto debe tenerse en cuenta que la utilización de estas aplicaciones informáticas se ha difundido de una manera muy amplia entre técnicos y profesionales ajenos a nuestros estudios que, ante la demanda social de este tipo de representaciones, sienten la lógica tentación de aportar imágenes que en muchos casos carecen del adecuado soporte científico en su gestación. El problema puede venir tanto en lo que respecta a la concepción general de las hipótesis como a intentar dar solución a cuestiones de detalle, como puedan ser las texturas, materiales y colores o en la búsqueda de visiones "fotorrealistas" sobre las que no existan evidencias y que pueden producir sensación de falsedad en las propuestas.

De aquí deberían salir dos reflexiones: La primera es que no podemos mantenernos de espaldas a estos métodos de trabajo excusándonos en que son fuente de falsedades. Será responsabilidad de quienes trabajamos en el campo de la investigación arqueológica y arquitectónica aportar el necesario rigor a las propuestas. Porque si no lo hacemos desde el campo científico, sin duda otros sin las bases adecuadas lo harán y en cualquier caso, este

tipo de representaciones llegará a la sociedad, porque la sociedad las está demandando.

La segunda reflexión está en relación con la forma final y el detalle al que debemos llegar en nuestras reconstrucciones y representaciones. Dadas las posibilidades cada vez mayores que las aplicaciones informáticas nos permiten en cuanto a similitud con la realidad en los modos de iluminación, calidades de los materiales, etc, es necesario determinar qué nivel de realismo podemos o debemos conseguir. La primera cuestión que evidentemente se plantea es la cantidad y calidad de información de que disponemos y por lo tanto los niveles de incertidumbre con los que tenemos que trabajar. Salvo casos excepcionales, generalmente siempre tendremos una información limitada pues en todo proceso de ruina y transformación es inevitable la pérdida de datos. Ello nos va a obligar a valernos de casos paralelos e informaciones complementarias para construir nuestras hipótesis, que serán en muchos casos eso, meras hipótesis con mayor o menor grado de certidumbre.

En los procesos de restauración existen unos criterios más o menos aceptados en cuanto al alcance permisible de la intervención los cuales guardan relación con el reconocimiento de la autenticidad de la obra, que debe siempre permitir distinguir con claridad lo que es original de lo que no lo es y lo que es verosímil de lo que es mera hipótesis, dejando este tipo de añadidos limitados a los casos en que se hace necesaria su realización por ineludibles razones de conservación y estabilidad de la obra. En el caso de la reconstrucción virtual es evidente que los criterios no tienen por que ser tan estrictos al no afectar de modo directo a la propia obra. Esto, no obstante, no debiera ser causa de una permisividad absoluta. Aunque la reconstrucción virtual es un proceso intelectual y por tanto no puede ser objeto de limitaciones de ningún tipo, y menos de carácter legal como lo son las intervenciones en el Patrimonio Cultural, sí debería plantearse una determinada ética que en el fondo debe ser la misma que debe presidir cualquier trabajo científico. Sin embargo, resulta difícil establecer unos límites claros en cuanto a nuestra capacidad de "invención" en la recreación de un patrimonio alterado, destruido, y en muchos casos, desaparecido. ¿Hasta dónde es lícito llegar en nues-

tras hipótesis? Seguramente no es fácil dar una respuesta unívoca a esta pregunta, que probablemente deberá ser muy distinta según los casos. Probablemente, más que poner límites al alcance de nuestras hipótesis, habrá que incidir en la explicación y justificación de las mismas asumiendo de todos modos el riesgo del uso indebido que pueda llegar a hacerse de las imágenes que hayamos creado sin el contexto de las explicaciones correspondientes.

En todo caso, el lenguaje de los acabados en luces y texturas debería ser utilizado como medio para expresar la fiabilidad o certeza de las propuestas. Normalmente los acabados de los edificios son las partes que más sufren siendo difícil en muchos casos poder saber cual era su color original o la forma de su decoración. De todos modos, no hay que olvidar que estos acabados definen de un modo especial la naturaleza de la arquitectura. Muchos de los grandes monumentos tal como hoy los contemplamos tienen muy poco que ver con la imagen que ofrecían a sus primitivos usuarios al haber perdido su color y su textura y con ello unas cualidades muy definitorias de esa imagen. Siempre que haya datos para reconstruir ese aspecto de la imagen, no cabe duda de que será importante mostrarlo, pero si carecemos de tal información, habrá que ser cautos y deberemos limitarnos a representar exclusivamente los espacios y los volúmenes recurriendo a texturas y colores de carácter neutro que, como mucho, insinúen posibles soluciones, pero sin darles un carácter realístico que pueda inducir a error.

El método de trabajo a seguir en este proceso es también importante y debe adoptar pautas que garanticen el rigor adecuado. En el grupo de investigación de la Escuela de Estudios Árabes hemos venido investigando sobre ello teniendo por tanto una cierta experiencia. Todo el proceso se inicia siempre con un detallado levantamiento que implica la medición de las estructuras y su representación en plantas, alzados y secciones. Para ello se utilizan todos los sistemas disponibles, desde la medición directa hasta los sistemas topográficos y fotogramétricos. La representación se realiza en AutoCAD, si es posible generando ya desde el comienzo un modelo tridimensional del estado actual que facilite la creación del modelo de la hi-

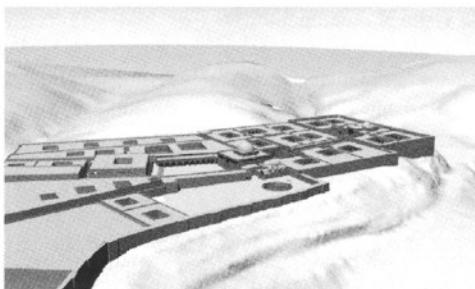
pótesis reconstructiva. El modelo del estado actual debe ser lo más detallado posible, recogiendo la forma real de las estructuras, sus deformaciones y lesiones y toda cuanta información pueda interesar a un estudio completo de los restos. Estos modelos, normalmente generados con fotogrametría son solamente "alámbricos", sin superficies ni sólidos que no son posibles en dibujos muy detallados. A partir de estas representaciones se inicia la generación de las hipótesis, trabajando siempre en AutoCAD y analizando, como es lógico, todos los elementos disponibles así como paralelos que se procura tener igualmente documentados en dibujos de AutoCAD, dentro de la base de documentación planimétrica de arquitectura andalusí que se ha ido generando en estos últimos quince años.

Una vez definidas las hipótesis, en un proceso que realizamos los investigadores especializados en arquitectura islámica, el trabajo se continúa por otros especialistas en temas infográficos bajo la coordinación del Prof. José Antonio Fernández Ruiz de la Escuela de Arquitectura de Granada, integrado también en el grupo de investigación. A partir de este momento, se inicia la creación del modelo virtual tomando como base el modelo de la hipótesis. Este proceso suele requerir una simplificación de éste último procurando reducirlo a formas geométricas simples, buscando la forma geométrica teórica de los elementos que facilite la formación de superficies y de sólidos. La formación de la maqueta requiere también seguir un proceso de análisis y descomposición de objetos generando un vocabulario de elementos que se usen de forma repetitiva, a fin de reducir en lo posible el tamaño en memoria de la maqueta virtual. La simplificación debe llevar aparejada igualmente la determinación de simetrías, rotaciones o matrices que faciliten la construcción del modelo.

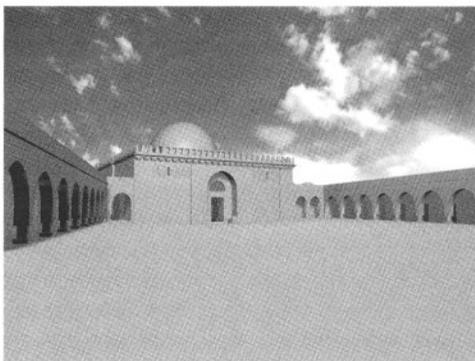
Constituida la maqueta en AutoCAD, ésta se exporta al programa 3DStudio Viz en donde se dota de materiales con texturas, colores e iluminación. Con él se pueden visualizar distintas vistas, cambiar la iluminación y, finalmente, obtener las distintas imágenes que se considere de interés. Éstas podrán ser modificadas o recreadas en cualquier momento y, obteniendo series de ellas desde puntos de una trayectoria, lograrse animaciones que

acentúan la percepción de las tres dimensiones y permiten una comprensión más adecuada del espacio.

Como ejemplo de algunas de las realizaciones que hasta ahora hemos hecho, podemos mostrar alguna imagen del Alcázar omeya de Amman (Figs 11-13), incluidas dentro de un CD-Rom que forma parte de la publicación de los trabajos de la Misión Arqueológica Española (Almagro et alii 2000, Fernández 2000) y que contiene una aplicación interactiva que permite al usuario recorrer virtualmente todo el conjunto tanto de modo predirigido como seleccionando los recorridos y visiones por el propio usuario.



*Figura 11. Reconstrucción virtual de la ciudadela omeya de Amman*



*Figura 12. Vestíbulo del Alcázar de Amman.*

Otro trabajo en proceso de realización es la reconstrucción del conjunto de Madinat al-Zahra en que se han hecho reconstrucciones de los tratamientos y acabados interiores de acuerdo con restos aparecidos en diversas zonas del conjunto (Figs 14-16).

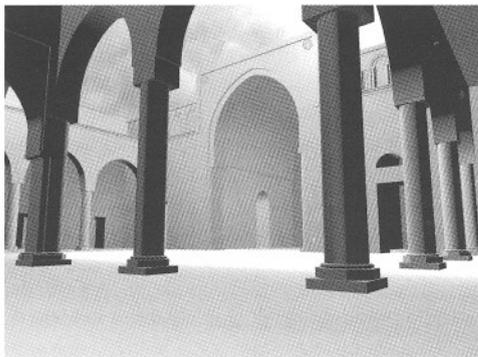
Un caso interesante por la fuerte transformación sufrida, es el del Patio del Crucero del Alcázar de Sevilla (Almagro 1999a). Las imágenes que se presentan corresponden a la situación del patio en dos períodos distintos, uno en época islámica (Fig 17) y el otro con posterioridad a la reforma realizada en tiempos de Alfonso X el Sabio (Fig 18). Ambos estados son difícilmente comprensibles a la vista del estado actual del conjunto. Las imágenes realizadas corresponden a una presentación audiovisual en curso de preparación para facilitar la visita al monumento.

Casos también de interés son los correspondientes al Maristán (Fig 19) y el Cuarto Real de Santo Domingo (Almagro-Orihuela 1998)(Fig 20) que constituyen propuestas de restauración de ambos monumentos.

Todo esto ilustra de forma bastante explícita las posibilidades que ofrece la infografía en el campo de la investigación arqueológica y de la difusión de su conocimiento y que en el futuro serán sin duda alguna objeto de dedicación y desarrollo generalizado.



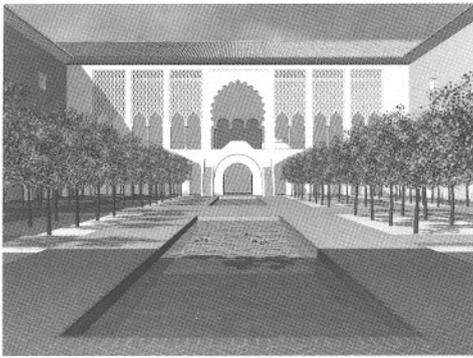
*Figura 13. Alcázar de Medina Azahra.*



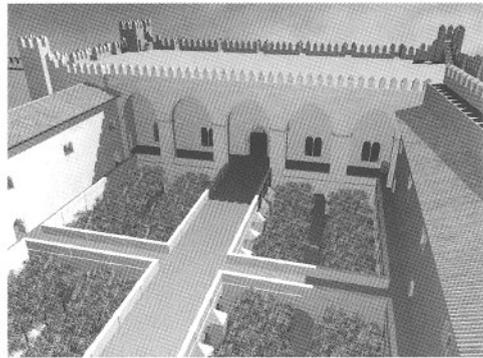
*Figura 14. Sala del trono del Alcázar de Amman.*



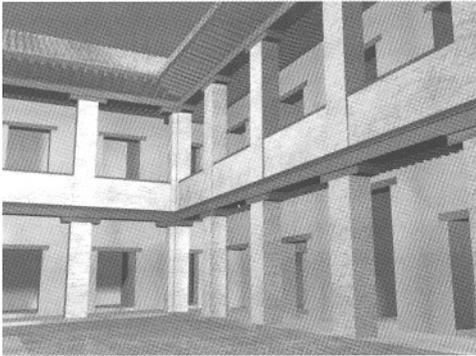
*Figura 15. Interior del Alcázar de Medina Azahra.*



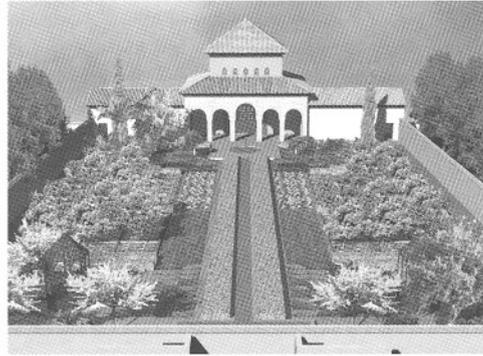
*Figura 16. El Patio del Crucero del Alcázar de Sevilla en época Almohade*



*Figura 18. El Patio del Crucero en época gótica.*



*Figura 17. Reconstrucción del Maristán de Granada.*



*Figura 19. Reconstrucción del jardín del Cuarto Real de Santo Domingo de Granada.*