

BIENNIAL DE LA RESTAURACIÓ MONUMENTAL
L'HOSPITALET DE LLOBREGAT (BARCELONA)
DEL 23 AL 26 DE NOVEMBRE DEL 2000

Globalització i monuments
Antonio González Moreno-Návaro

La restauración como recuperación del sentido
Marta Mariel Elia

La restauración monumental en España
a la Carta de Cracovia
Javier Rivera Blanco

Sobre historia y restauración
diferencia entre San Juan de
Luis Caballero-Zoreda

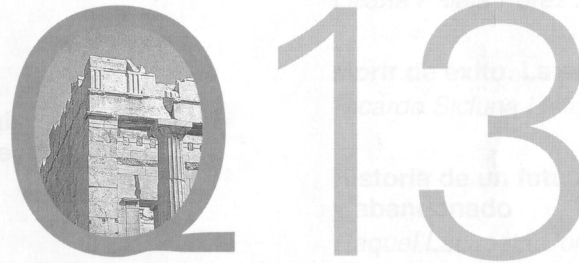
Arqueología y restauración. El *oppidum* del Turó
del Montgròs (El Brull, Barcelona)
Àdolfo López Mallor

El monumento como documento histórico. Intervención
en la cartuja de Escaladei
Pere de Manuel González

L'analisi tra restauro architettonico e restauro
archeologico
Stefano Gizzi

La documentación de construcciones antiguas
Marta Gabol Matyóga Hernández

**QUADERNS
CIENTÍFICS
I TÈCNICS
DE RESTAURACIÓ
MONUMENTAL**



**I BIENNIAL DE LA RESTAURACIÓ MONUMENTAL
L'HOSPITALET DE LLOBREGAT (BARCELONA),
DEL 23 AL 26 DE NOVEMBRE DEL 2000**



**Diputació
Barcelona**
xarxa de municipis

Àrea de Cooperació
Servei de Patrimoni Arquitectònic Local

DIPUTACIÓ DE BARCELONA. ÀREA DE COOPERACIÓ
SERVEI DE PATRIMONI ARQUITECTÒNIC LOCAL
C/ Comte d'Urgell, 187. Edifici del Rellotge. 08036 BARCELONA
Telèfon: (34) 93.402 21 73. E-mail: s.patrimonial@diba.es

QUADERNS CIENTÍFICS I TÈCNICS DE RESTAURACIÓ MONUMENTAL, 13 (estiu 2002)
I Biennial de la Restauració Monumental

Direcció

Antoni González

Coordinació

Marisa Díez

Documentació

Rosa Maria Cantero, Dolors Forés

© Diputació de Barcelona, 2002
Producció: Institut d'Edicions de la Diputació de Barcelona
Disseny de la coberta: Arte-facto
Preimpresió: Foletra SA
Impressió: Grup Gràfic SA
ISBN: 84-7794-883-6
Dipòsit legal: B-15608-2002

**I BIENNAL DE LA RESTAURACIÓ MONUMENTAL
L'HOSPITALET DE LLOBREGAT (BARCELONA)
DEL 23 AL 26 DE NOVEMBRE DEL 2000**

Globalización y monumentos <i>Antoni González Moreno-Navarro</i>	7
La restauración como recuperación del sentido <i>Mario Manieri Elia</i>	23
La restauración monumental en España en el umbral del siglo XXI. Nuevas tendencias: De la Carta de Venecia a la Carta de Cracovia <i>Javier Rivera Blanco</i>	29
Sobre historia y restauración del monumento (o de la diferencia entre San Juan de Baños y el Taj Mahall) <i>Luis Caballero Zoreda</i>	41
Arqueología y restauración. El oppidum del Turó del Montgròs (El Brull, Barcelona) <i>Alberto López Mullor</i>	53
El monumento como documento histórico. Intervención en la cartuja de Escaladei <i>Pere de Manuel González</i>	67
L'anastilosi tra restauro architettonico e restauro archeologico <i>Stefano Gizzi</i>	79
La documentación de construcciones antiguas <i>María Isabel Mayorga Hernández</i>	99

El trazado y la construcción de armaduras de pares. Casos estudiados en la Comunidad Valenciana <i>Liliana Palaia Pérez</i>	107
Morir de éxito. La segunda desamortización <i>Ricardo Sicluna Lletget, Arturo Zaragoza Catalán</i>	115
Historia de un futuro incierto: patrimonio restaurado y abandonado <i>Raquel Lacuesta Contreras</i>	119
Los estudios científico-técnicos en el proceso de restauración monumental. Estado de la cuestión <i>José Luis González Moreno-Navarro</i>	131
El modelo 3D fotogramétrico: obtención, manipulación y aplicaciones <i>Leandro Cámara Muñoz, Pablo Latorre González-Moro</i>	141
Monumento: uso y lectura de la arquitectura <i>Carlos Campos González</i>	153
Los procesos de transformación de la arquitectura en el tiempo. Consecuencias teóricas y metodológicas en el proyecto y la obra de restauración <i>Pablo Latorre González-Moro, Leandro Cámara Muñoz</i>	161

La ciudad histórica como proyecto <i>Concepción Fontenla San Juan</i>	177	Restauración del Palacio Episcopal de Orihuela (Alicante). Conselleria de Cultura y Conselleria d'Obres Públiques de la Generalitat Valenciana <i>Luis López Silgo</i>	275
Las ciudades varadas. (Hacia una rehabilitación sostenible en las ciudades históricas) <i>Javier Ramos Guallart</i>	189	Consolidación y restauración del muro de Alafia, parte integrante del conjunto fortificado de Xivert (Castellón) <i>Vera Hofbauerová.</i>	283
El Valle Salado de Salinas de Añana (o donde la Historia se hace paisaje) <i>Juan Ignacio Lasagabaster Gómez</i>	197	El castillo de Alcalá en la Puebla de Mula (Murcia): una actuación por emergencia <i>Francisco Javier López Martínez</i>	289
Lectura estratigráfica y restauración de fábricas. De la teoría general a la práctica concreta <i>Fernando Cobos Guerra</i>	209	Intervención de emergencia en una torre que se movía: la de la iglesia de Alcolea de Cinca (Huesca) <i>Joaquín Naval Mas</i>	297
Reflexiones en torno a la conservación de los bienes culturales en el siglo XXI <i>Julián Esteban Chaparría</i>	221	Restauraciones en la catedral del Salvador de Orihuela y el castillo de la Atalaya de Villena <i>Santiago Varela Botella</i>	303
Investigación sobre la puerta de Porto Pí y rehabilitación de una torre de la muralla musulmana <i>Juana Roca Cladera</i>	231	Restauración de fachadas en el casco histórico de Sevilla <i>María Dolores Robador González</i>	311
Intervención en dos torres aragonesas: la del Trovador de la Aljafería y la de la Seo en Zaragoza <i>Luis Franco Lahoz, Mariano Pemán Gavín</i>	247	La restauración de los esgrafiados barrocos en Barcelona: la casa de la calle Escudellers 44 <i>Joan Casadevall Serra</i>	321
La puesta en valor de las estratificaciones históricas: la restauración del monasterio de San Miguel de los Reyes para sede de la Biblioteca Valenciana <i>Julián Esteban Chaparría</i>	259	Restauración de la parroquial de la Natividad en Valdetorres de Jarama, Madrid <i>Pablo Latorre González-Moro, Leandro Cámara Muñoz</i>	327
Trabajos previos: Elaboración de la obra «Guía de arquitectura de la provincia de Alicante» <i>Gaspar Jaén Urban</i>	267	Restauration, ré-utilisation et création dans les monuments historiques en France: ancienne abbaye de Saint-Vincent à Nieul-sur-l'Autize en Vendée et abbaye Notre-Dame à Acey dans le Jura <i>Nicolas Detry</i>	339

**Sobre a intervenção no património em Portugal:
uma questão de identidade**
Luís Miguel Correia 353

**Uma Ponte para a reabilitação do Edifício do Aljube,
antigo Convento de Santa Clara. Porto (Portugal)**
Victor Mestre 359

La restauración en Italia, hoy
María Margarita Segarra Lagunes 369

**El patrimonio arquitectónico en Navarra: su protección
desde la legislación urbanística**
José Luis Franchez Apezetxea 375

**¿Restauro o hiperintervención? La importancia
de los estudios previos**
*Miguel Luis Cereceda, Yolanda Spairani Berrio,
Raúl Prado Govea* 383

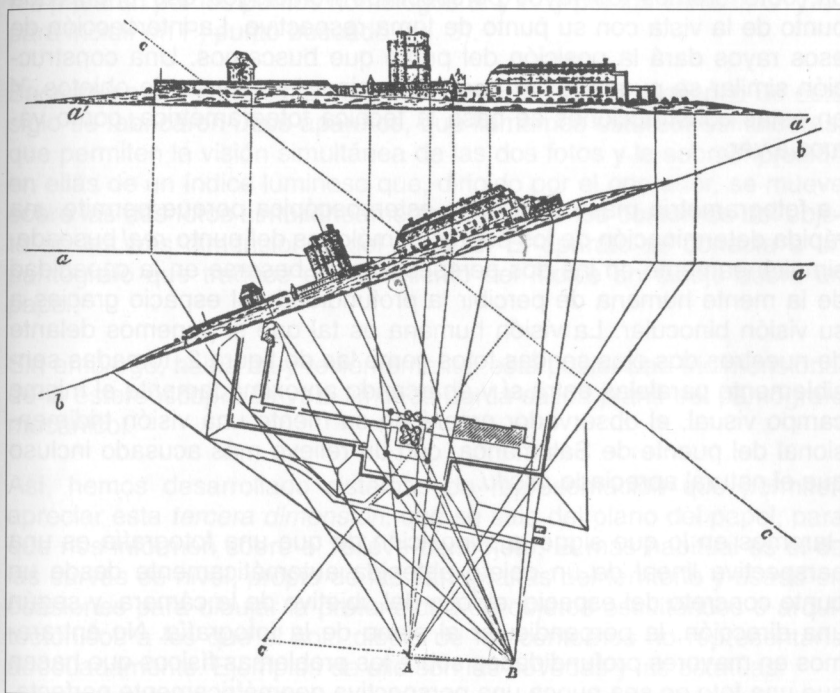
**De la indiferencia a una cultura de la conservación:
¿Cuánto nos falta?**
Rubén Omar Montero 389

**Rehabilitación de vivienda en el casco urbano de Zorita
de los Canes (Guadalajara)**
Pilar Oteiza Sanjosé 395

Programa de la I Biennial de la Restauración Monumental 403

EL MODELO 3D FOTOGRAMÉTRICO: OBTENCIÓN, MANIPULACIÓN Y APLICACIONES

Leandro Cámara,* Pablo Latorre**



1. Restitución gráfica de un par de imágenes. Obtención de la planta del Fuerte de Vincennes. Aimée Laussedat, 1850.

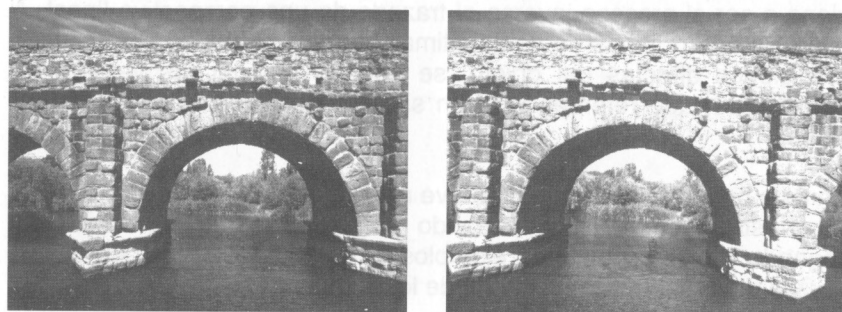
1. La fotogrametría. Nociones básicas

La fotogrametría es una técnica que permite la medición de cualquier objeto a partir de fotografías. Según cómo obtengamos estas fotografías o sea el objetivo de nuestra aplicación, nos moveremos en unos rangos de precisión mayores o menores y necesitaremos el concurso de unos equipos más o menos complejos y caros. Veremos más adelante cómo en los últimos años se han venido simplificando éstos a la vez que han ido aumentando sus potencialidades por cuenta de la informatización de sus procesos.

La fotogrametría efectúa mediciones tridimensionales en cuanto utiliza dos o más fotografías para restituir el dibujo del objeto. La restitución viene a ser el proceso inverso al trazado de una perspectiva lineal. A partir de una o varias de estas últimas, complementadas con algunas mediciones directas del objeto, se pueden obtener las verdaderas magnitudes, que referiremos a un sistema de coordenadas tridimensional.

En esta ponencia haremos un breve repaso de esta técnica, empezando por su origen e historia, pasando por las técnicas más habituales y llegando a mostrar algunos ejemplos de las posibilidades que ofrece para la documentación y análisis de los edificios.

La fotogrametría nace mediado el siglo pasado de la mano de los ingenieros militares, que se plantean como problema el cálculo de los



2. Par estereoscópico de fotogramas. Fotogrametría del Puente Romano de Salamanca. LyC, SL., Ayuntamiento de Salamanca, C.P.A. SL, A. Barbero, arquitecto restaurador, 1999.

planos de un supuesto baluarte enemigo inaccesible. La figura 1 muestra una de las primeras construcciones gráficas de restitución, trazada a partir de dos vistas perspectivas obtenidas con cámara clara. La cámara clara es un artefacto que permite dibujar perspectivas lineales *proyectadas* sobre un papel mediante un sistema de prismas y espejos. Si conocemos la posición relativa de las dos vistas y las direcciones de sus ejes perspectivos, la construcción resulta viable y fácil: abatiremos las dos imágenes según sus direcciones perspectivas y, representando la base de medición a escala adecuada, obtendremos los rayos perspectivos homólogos que *unen* cada punto de la vista con su punto de toma respectivo. La intersección de esos rayos dará la posición del punto que buscamos. Una construcción similar se puede hacer para determinar las alturas de objetos. Y en estas construcciones se basa la técnica fotogramétrica, como vamos a ver.

La fotogrametría más usual es la estereoscópica porque permite una rápida determinación de los puntos homólogos del punto *real* buscado, simultáneamente en las dos perspectivas, al basarse en la capacidad de la mente humana de percibir la profundidad del espacio gracias a su visión binocular. La visión humana es tal que si ponemos delante de nuestros dos ojos sendas fotos como las de figura 2, tomadas sensiblemente paralelas entre sí y abarcando aproximadamente el mismo campo visual, el observador creará en su mente una visión tridimensional del puente de Salamanca, con un relieve más acusado incluso que el natural apreciado *in situ*.

Haremos en lo que sigue la suposición de que una fotografía es una perspectiva lineal de un objeto obtenida automáticamente desde un punto concreto del espacio, el foco del objetivo de la cámara, y según una dirección, la perpendicular al plano de la fotografía. No entraremos en mayores profundidades sobre los problemas físicos que hacen que una foto no sea nunca una perspectiva geoméricamente perfecta, pues nos alargaría demasiado y nos distraería de nuestro objetivo, que no es la fotogrametría sino sus aplicaciones.

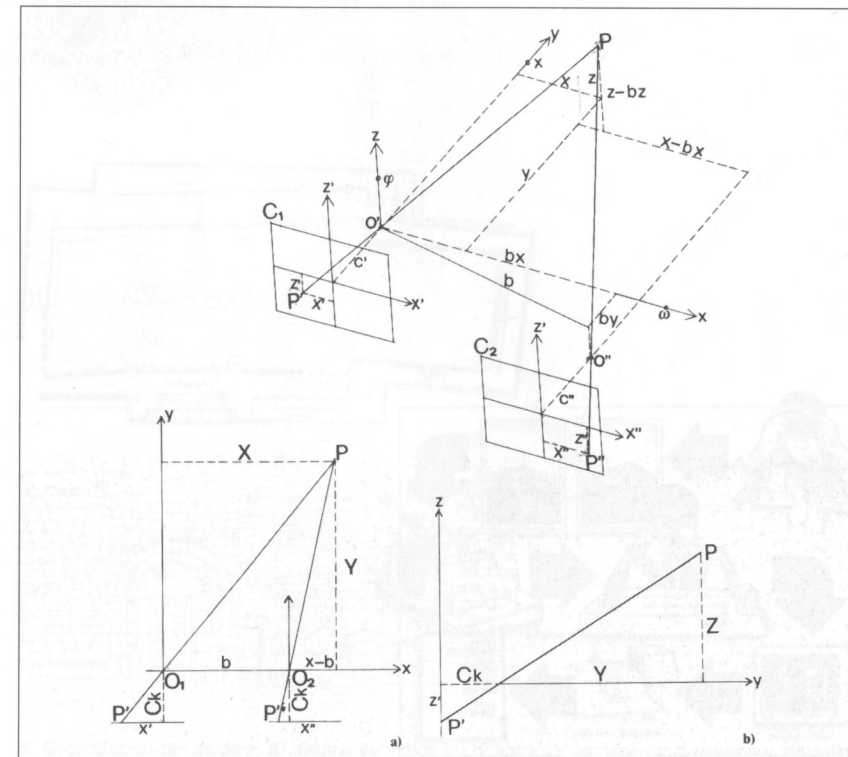
Como en la construcción de Laussedat, la determinación de las coordenadas de un punto del espacio reflejado en dos fotografías estereoscópicas se hace mediante el cálculo de la intersección de los rayos luminosos que han producido las imágenes pasando por los vértices –o focos– de las cámaras. Si situamos las dos fotos en su correcta posición relativa una a la otra, a la distancia y con los ángulos de toma referidos a un sistema de coordenadas general, podremos calcular matemáticamente la dirección de los rayos visuales en el espacio y, por tanto, la intersección de las rectas que los representan. Estas rectas pasarán por los puntos homólogos P' y P'' y por los vértices O' y O'' para incidir en P , punto buscado (fig. 3).

Basándose en el principio estereoscópico, desde el comienzo de este siglo se fabricaron unos aparatos, que llamamos estereorrestituidores, que permiten la visión simultánea de las dos fotos y la sobreimpresión en ellas de un índice luminoso que, dirigido por el operador, se mueve sobre las dos fotos simultáneamente siguiendo los contornos del objeto en las tres dimensiones del espacio. El aparato se conecta a un pantógrafo que traduce el movimiento del índice en dibujo sobre un papel.

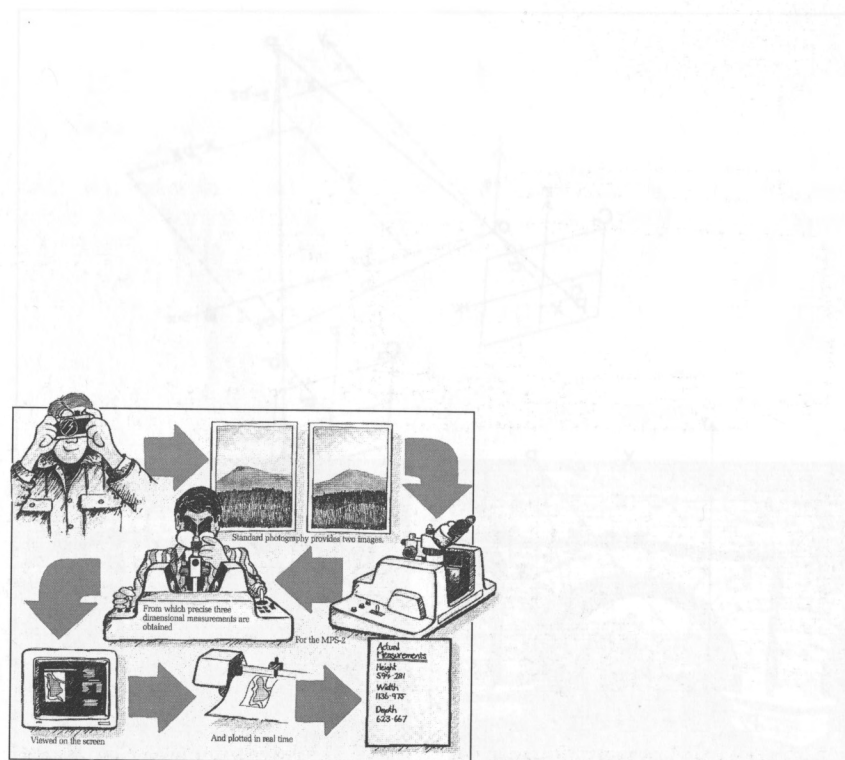
Sin embargo, hasta muy recientemente, esta posibilidad tridimensional de la estereoscopia se veía limitada por la salida *plana* del pantógrafo mecánico.

Así, hemos desarrollado sistemas de representación que permiten apreciar esta *tercera dimensión*, que se sale del plano del papel, para que nos informen sobre el relieve del objeto. El más habitual es el de las curvas de nivel, propio de las cartografías del territorio y usado en ocasiones para dibujar la profundidad de objetos escultóricos o arquitectónicos a los que el solo dibujo de los contornos no representaría adecuadamente. Ejemplos de ello son las bóvedas y las estatuas.

Con todo, la fotogrametría arquitectónica ha sido una herramienta muy útil para el dibujo de precisión; precisión que queremos tanto en el de-



3. Determinación de la posición de un punto. Construcción a partir de un par de fotografías. Tomado de C. Cundari, *Fotogrametría arquitectónica*, 1983.



4. Informatización del proceso. Sistema de restitución con cámara de medio formato y estereorestituidor analítico conectado a ordenador personal.

talle del objeto que dibujamos como en la geometría tridimensional de sus superficies. Ha sido muy empleada para el dibujo de elementos complicados, como portadas o retablos, difíciles si no imposibles de dibujar con otras técnicas. Pero no es esta la aplicación que a nosotros más nos interesa, por lo que no veremos de ello ningún ejemplo en esta ocasión. Nos interesan más bien las posibilidades de medición tridimensional, que unidas a las potentes herramientas de gestión que proveen los sistemas de dibujo asistido por ordenador han venido a revolucionar el mundo de la fotogrametría.

Estas posibilidades de gestión tridimensional tropiezan sin embargo con serias dificultades, y de su solución hablaremos después. Por ejemplo, en el campo de la topografía, dos dificultades se cruzan: la primera, que los terrenos carecen de aristas o contornos que definen sus relieves –salvo en lugares abruptos, obviamente–, por lo que las curvas de nivel siguen siendo un recurso útil para representarlos, ya que ponen en escala su altitud, lo que no hacen las modernas representaciones mediante mallas. Y la segunda, que hay una costumbre general de leer este código en los mapas que no es fácil cambiar.

Volviendo a los procesos fotogramétricos, la informatización ha permitido reducir la complejidad y el coste de los equipos al permitir la ejecución de cálculos intensivos y complejos que en los aparatos analógicos estaban limitados a la solución de sistemas con tres incógnitas. En los ordenadores, mediante algoritmos iterativos, podemos calcular valores para sistemas de miles de incógnitas, por lo que se simplifican los equipos de toma de fotos y de restitución.

Ahora operamos con cámaras semimétricas, que sólo por un prurito de excelencia intentamos que sean de alta calidad, cuando realmente vale cualquier cámara sin más que hacer en ella ciertas modificaciones y cálculos. Para restituir utilizamos equipos en los que el aparato mecánico prácticamente ha desaparecido, sustituido por una placa electrónica. El proceso (fig. 4) es tan sencillo como tomar un par de fotos, sensibles pero no estrictamente paralelas, introducir las en el apa-

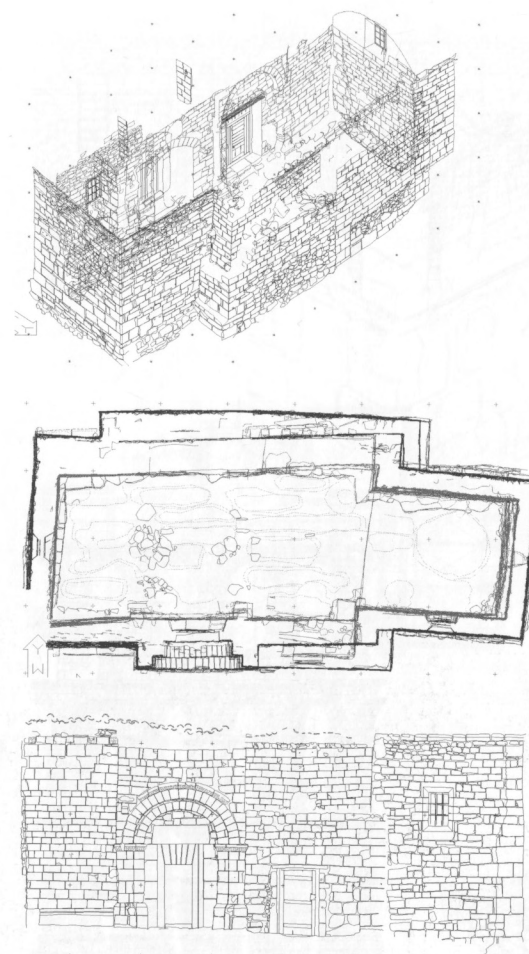
rato de restitución, calcular su posición en el espacio con ayuda de algunos puntos de referencia obtenidos topográficamente, y comenzar a dibujar en tres dimensiones.

Con ello conseguimos dibujar cada línea en su posición real en el espacio, grabarla en el programa de dibujo elegido y editarla, manipularla o representarla vista desde cualquier punto del espacio. Utilizaremos un sistema de cálculo y registro en tres coordenadas cartesianas sólo por convención, y elegiremos cualquier plano para proyectar el objeto, en sistema diédrico, axonométrico o perspectivo. De esta manera, no necesitaremos recurrir a sistemas como las curvas de nivel para figurar la profundidad de los objetos, sino que tendremos el modelo tridimensional que buscábamos en esta ponencia, el que agrupa toda la información métrica del edificio.

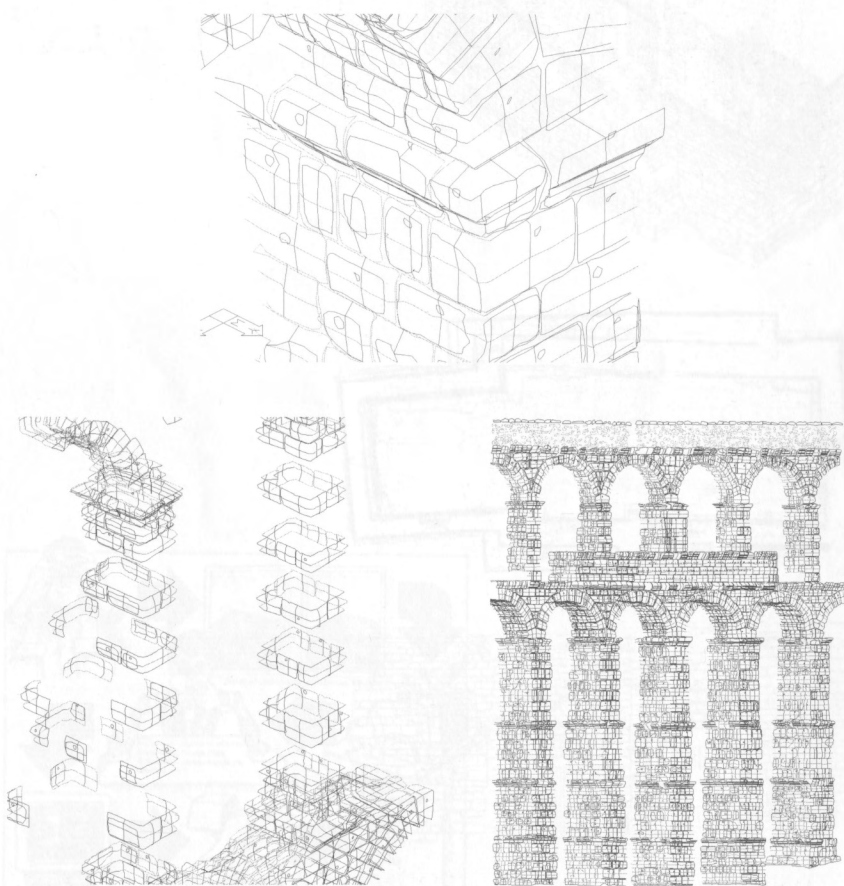
2. El modelo 3D. Utilidad y organización

Este modelo 3D —como por abreviar lo vamos a llamar en adelante— contiene un dibujo detallado del objeto, edificio en nuestra aplicación (fig. 5), lo que nos facilitará el estudio de los materiales constructivos, sus características y alteraciones, su organización en la fábrica, la lectura arqueológica de su evolución constructiva, etc. El modelo será el soporte gráfico donde reflejar esos estudios. Por su precisión métrica permitirá el estudio geométrico de sus trazados y modulaciones y la reflexión sobre los métodos antiguos de proyectar, tanto como el estudio de deformaciones y el reflejo de lesiones estructurales.

Como aplicación de documentación específica, la fotogrametría permite la de objetos intocables por su estado de conservación, tanto como su reproducción a efectos de conservación o musealización. Asimismo, es un sistema de registro del estado actual de un edificio que puede ser utilizado también secuencialmente para documentar las fases de una excavación arqueológica o de un proceso constructivo, gracias a la rapidez con que se toman datos con una cámara de fotos.



5. Organización del modelo 3D. Dibujo de líneas en el espacio, verdaderas dimensiones y situación cartesiana. Dibujo exhaustivo de cada superficie visible en su posición. Estructuración de la información por capas y colores correspondientes a tipos de línea y orientaciones en el espacio. Modelo de la iglesia de San Román en Tobillas, Álava. LyC, SL, para la Diputación Foral de Álava.



6. Representación de líneas y superficies. El dibujo se adapta a las necesidades de representación y a las posibilidades de gestión del ordenador. Cuatro pilas y detalles del Acueducto de Segovia. LyC, S.L. Junta de Castilla y León, 1995.

Desarrollado plenamente, el modelo 3D refleja todas las superficies visibles del edificio, y las representa en un sistema de coordenadas único y en un solo dibujo. Esto obliga a organizarlo cuidadosamente para permitir su manipulación posterior, separando las caras por su orientación geográfica en el espacio y por las caras interiores o exteriores de los mismos muros. Y dentro de cada superficie, por el tipo de objeto representado, juntas, aristas, decoración, fisuras, etc. Esto se hace mediante el uso de capas y colores, de manera que la activación de unas u otras permite obtener las vistas *canónicas* de plantas, alzados, secciones o perspectivas. En estas capas dibujaremos aquello que en cada ocasión nos interese en función del objetivo del dibujo. Conviene decir que la verdadera documentación del edificio son las fotografías con los datos de las cámaras con que se han hecho y las condiciones de orientación de las tomas, acompañadas del correspondiente apoyo topográfico. Todo dibujo que hagamos después es una explotación de las fotos dirigida a un fin concreto.

El objetivo declarado de conseguir esa documentación completa del estado de un edificio mediante la fotogrametría de su superficie visible exigirá una cuidadosa planificación de la campaña de toma de datos. Con un conocimiento básico previo de las medidas del edificio preveremos el número y posición de las fotos a tomar. En función de la escala de los negativos que deseemos y de las cámaras que podamos emplear afinaremos la previsión de la campaña y pensaremos en los medios auxiliares que podremos necesitar, tales como andamios o grúas. También determinaremos los puntos de apoyo topográfico que necesitaremos.

Según sea el edificio y según los requerimientos de utilidad del dibujo, el modelo será más o menos complejo. Por ejemplo, en el Acueducto de Segovia (fig. 6), para representar de alguna manera el almohadillado de los sillares, muy erosionado en la mayoría de las piedras pero siempre apreciable como volumen de la cara de todas ellas, recurrimos a un doble sistema, dibujando tanto el contorno aparente del *abultamiento* como dos perfiles por cada piedra, vertical y horizontal, para sugerir su volumen. En un escalón más alto está la configuración

del edificio a base de sillares bien escuadrados sentados a hueso, por lo que hicimos corresponder un bloque de dibujo a cada uno de ellos, dándole un nombre que había de servir también como clave de un registro asociado en una base de datos. Por último, el tercer escalón es la estructura completa, formada por pilas que se suceden linealmente, por lo que dividimos el modelo en un conjunto de 126 dibujos correspondientes a cada una de ellas.

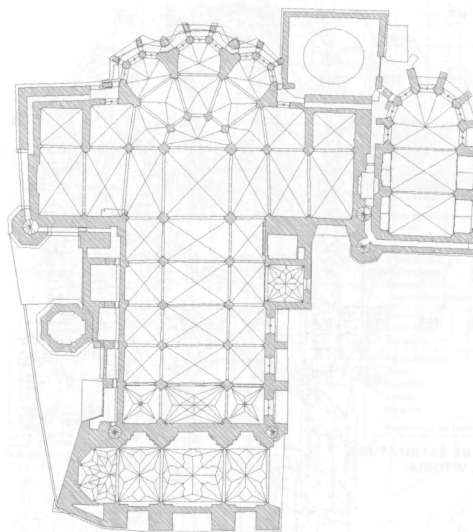
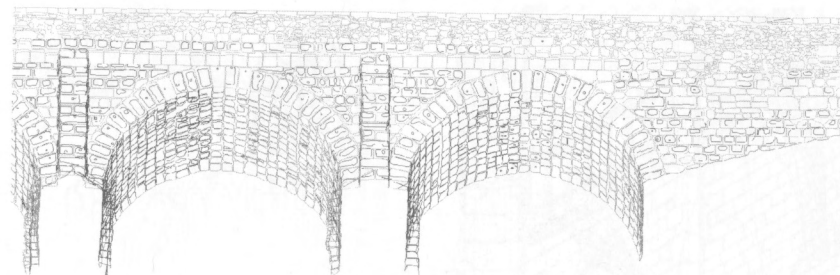
Un modelo muy similar es el del Puente Romano de Salamanca (fig.7), estructurado de forma parecida: en el orden superior, cada pila con sus dos semiarcos, hasta 27, es un dibujo con un nombre; en el inferior, prescindimos de la representación de perfiles porque el relieve de los sillares es menos acusado y se identifica suficientemente con el dibujo del contorno del almohadillado.

Este sistema de división lineal es posible porque estas dos obras civiles tienen esa configuración, pero vamos a ver que los edificios son en general más complejos.

Una catedral, la de Vitoria en el caso que vamos a ver en detalle hasta el final de la ponencia (fig. 8), está formada por naves y tramos, si la miramos en planta, y por pilares, arcos, triforio, claristorio, bóvedas y cubiertas si lo hacemos en sección. Este entrecruce de órdenes, el primero cartesiano, el segundo arquitectónico, complica muchísimo la preparación del modelo 3D.

No cabe desde luego la descomposición lineal anterior, ni tampoco la del modelo de Tobillas, por muros y orientaciones en el espacio. Hemos de analizar el edificio previamente para poder discriminar sus partes inequívocamente.

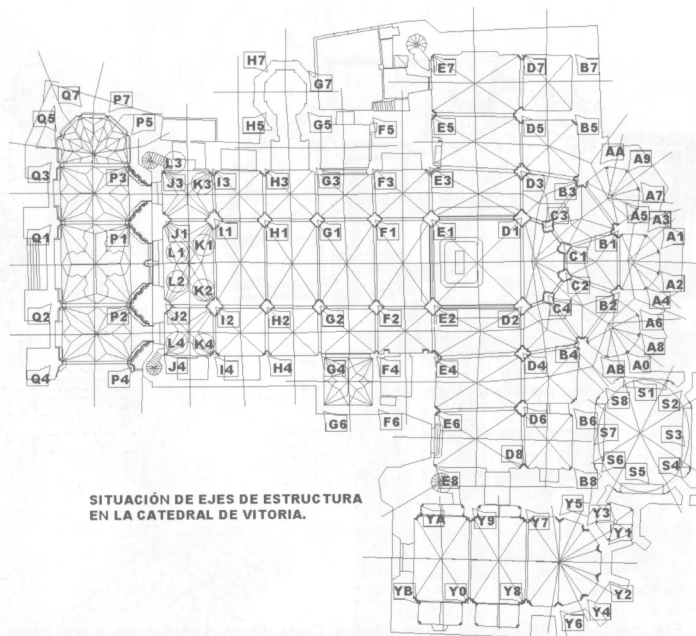
Sobre la planta (fig.9), estableceremos un sistema cartesiano adaptado a la geometría real del edificio. Lo dividiremos en cuadrantes correspondientes a los ejes de la estructura, a los que nombraremos con claves cartesianas de letras y números, aquéllas crecientes desde la



7. Fragmentación del modelo 3D en dibujos. Cada dibujo corresponde a una parte constructiva del edificio. Varias pilas y arcos del Puente Romano de Salamanca. LyC, SL., Ayuntamiento de Salamanca (arriba).

8. Modelo 3D de edificios complejos. Descomposición en elementos constructivos en varias direcciones. Catedral de Vitoria. LyC, SL, Diputación Foral de Álava, 1996-1998 (abajo).

Ojiva	O 2
Perpiano	PP 2
Formero	FR 2
Piñonero	PF 3
Clave	CL 1
Arbotante	AB 1
Estribo	ET 1
Triforio	TF 2
Diafragma	DF 2
Ventanal	VT 2
Pilar	PL 1
Pilastra	PT 1
Tímpano	TP 2
Enjuta	EJ 2
Arco del miedo	AG 2
Botarel	BT 1
Muro	MR 2
Combado	CB 2
Ligadura	LG 1
Tercete	TC 2
Arquivolta	AV 2
Gallón	GL 2
Trompa	TR 1
Contrafuerte	CF 1
Tajado	TJ 2
Cumbra	CU 2
Canalón	CN 2
Durmiente	DR 2
Cercha	CH 2
Correa	CR 2
Par	PR 2
Nervio	NV 2
Puerta	PU 2
Cañon	CA 2
Capilla lateral	CP 2
Carpintería	CT 2
Portada	PD 2
Bovéda Vaida	BV 1
Tirante	TN 2
Retablo	RB 2
Escalera	EL 1
Saetera	ST 1
Entramado	EM 2
Canecillo	CC 2
Banco	BC 2
Bajante	BJ 1
Reja	RJ 2
Cornisa	CS 2
Arco de descarga	AD 2
Jamba	JB 1



9. Descomposición por cuadrantes y tipos. Cada elemento constructivo es de una clase y ocupa una posición en el edificio. Sistema de descomposición de la catedral de Vitoria. LyC, SL. J. Vicario, colaborador. DFA.

cabecera hacia los pies, éstos pares al sur del eje central de la nave e impares al norte. En la girola y el presbiterio, la configuración radial nos obligará a un sistema de coordenadas adaptado, anómalo.

Sobre el alzado, la división se hará por funciones constructivas de los miembros: pilares, arcos, muros, bóvedas, arbotantes, estribos, etc. La combinación de la clave topológica –de situación en planta– con la tipológica –de función constructiva– nos dará claves únicas de designación de cada miembro, a los que hemos llamado *unidades constructivas*. La discriminación de qué piedras pertenecen a cada elemento cuando se encuentran imbricados como las pilastras y los muros, se hace estableciendo una jerarquía *estructural* de los miembros, en cierto modo ficticia, que establece que la pilastra es más resistente –o conduce más carga– que el muro.

Esta descomposición conduce a un modelo formado por más de 1500 archivos de dibujo con nombres distintos. Los hemos separado en dos grandes grupos para los paramentos interiores y exteriores. Y para su gestión hemos desarrollado un sistema de referencia a todos ellos a través de un modelo simplificado que contiene una línea por cada unidad constructiva. Lo llamamos *plano-guía* porque es como un índice gráfico de lo que contiene el modelo, en el que cada línea tiene el mismo nombre que la unidad a la que representa.

Nótese que hemos dado un salto desde considerar que el modelo es un solo dibujo conteniendo todas las caras y piedras del edificio a hacer de él un paquete, primero de 27 o 126 dibujos, en el Puente de Salamanca y en el Acueducto de Segovia, y ahora de más de 1500, algunos muy pequeños y otros enormes.

Para el manejo del modelo a través del plano-guía hemos programado un menú de órdenes llamado *catedral* (fig. 10).

Sobre el plano-guía podremos designar las líneas que representan al elemento que queremos recuperar o podremos teclear su nombre.

Éste aparecerá importado en su posición en el espacio, dando lugar a un modelo detallado de una parte del edificio. Se comprenderá que es difícil manejar todos los elementos de una vez tanto por las dificultades de visualización como por la capacidad de gestión del propio ordenador.

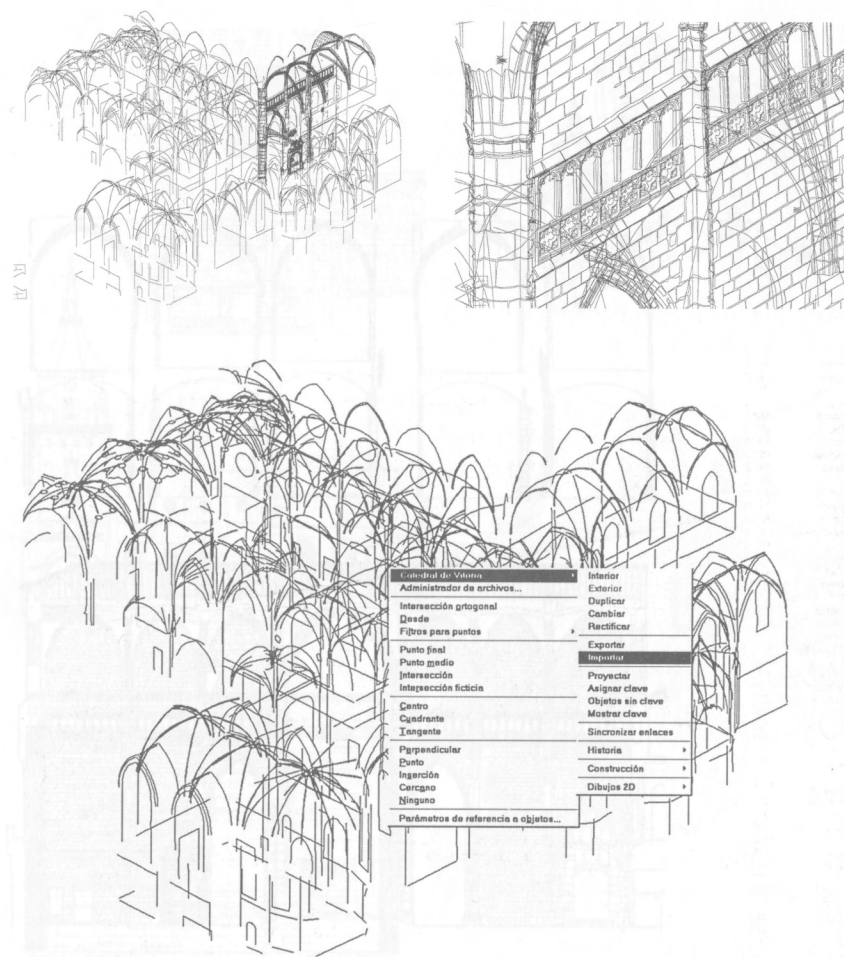
3. El modelo 3D fraccionado. Explotación y aplicaciones

Pues bien, tendremos que decidir en cada caso qué queremos hacer con cada parte del modelo. Su fraccionamiento nos permite agrupar las partes con el orden que en cada momento nos convenga. Vamos a ver algunos ejemplos.

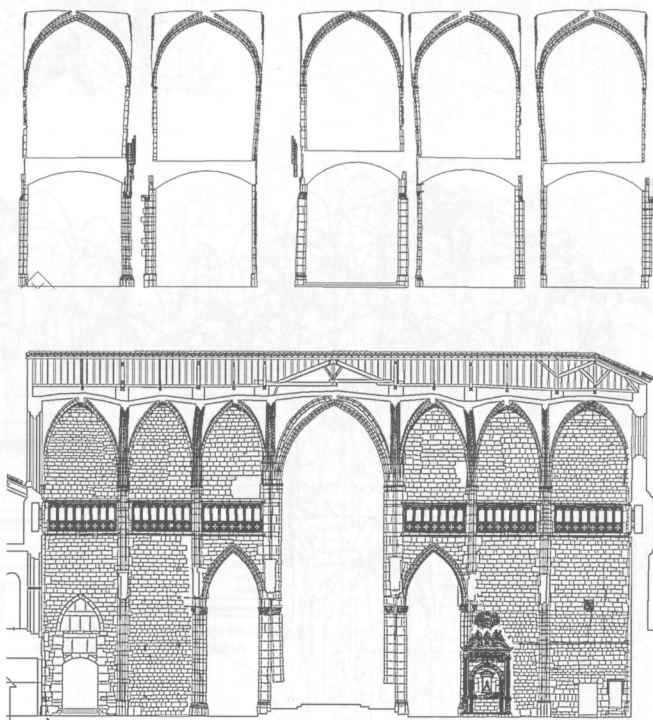
La catedral de Vitoria es un edificio con una vida agitada que ha hecho que al cabo de varios siglos haya llegado a presentarse a nosotros con un cuerpo deformado y lleno de prótesis. El arranque de toda la investigación que hemos hecho en ella es el miedo que da verla así: «¿Se va a caer?», nos preguntamos. No entraremos aquí en si se cae o no, que lo dejamos para otra ocasión, sino en mostrar como primera aplicación el estudio de esas tan temibles deformidades.

En efecto, el modelo nos ha permitido no sólo medir la deformación de cada miembro –cosa que se podría hacer arco por arco– sino sobre todo comparar unas con otras dentro del mismo sistema de coordenadas y viendo las relaciones tridimensionales que se producen entre unos y otros arcos: los alabeos de los planos intermedios, las pérdidas de curvatura de las ojivas y plementos, etc.

Podemos tomar en un modelo los arcos, ojivas y pilastras de una parte o toda la catedral, o, alternativamente, los muros y plementos que cierran el espacio entre esos elementos lineales, para comparar medidas reales de una manera que ni siquiera es posible sobre el propio edificio porque en éste los muros no son transparentes ni traspasables con una cinta métrica (fig. 11).



10. Gestión del modelo con un dibujo simplificado y recuperación de elementos del modelo 3D. El *plano-guía* representa cada elemento con una línea. La llamada a través del *plano-guía* inserta los elementos en su posición. Planos Guía interior y exterior y sistema de gestión de archivos de dibujo de la catedral de Vitoria (originales en color). LyC, SL. DFA.



11. Explotación del modelo 3D fraccionado. Se obtienen modelos parciales con distintos objetivos de estudio. Análisis de deformaciones de la catedral de Vitoria. LyC, SL. DFA (arriba).

12. Obtención de planos temáticos. Cada estudio previo tiene su reflejo sobre el modelo completo. Lectura arqueológica de las fábricas de la catedral de Vitoria (original en color). A. Azkarate, arqueólogo, UPV. DFA (abajo).

En otro orden de cosas, el dibujo detallado permite la representación del análisis arqueológico de la arquitectura (fig.12), también relacionando transparentemente caras interiores y exteriores, y su transposición a un sistema de bases de datos enlazado con el modelo que nos permite interactuar con él a base de consultas que provocan cambios de color en el dibujo siguiendo códigos para crear planos temáticos de manera semiautomática.

Esos mismos planos detallados son el soporte para el reflejo de los resultados de todos los estudios que hemos venido haciendo durante tres años en la catedral antes de contestar a la pregunta sobre su supuestamente inminente ruina.

Por último, podremos agrupar los elementos constructivos para montar las fachadas o los volúmenes del edificio. Como quiera que a pesar de aumentar el número de dibujos y la complejidad del modelo 3D no hemos renunciado a la clasificación de menor rango de las líneas con capas y colores correspondientes a las orientaciones y los tipos de línea –juntas, fisuras, aristas, contornos aparentes, etc.–, todavía podemos obtener alzados o secciones como los de Tobillas sin más que importar los elementos adecuados y activar las capas visibles.

Puesto que el modelo es tridimensional y las herramientas de dibujo asistido lo permiten, lo miraremos desde cualquier punto de vista y obtendremos la proyección sobre el plano de esa visión. De este modo tendremos un producto subsidiario del modelo 3D que son los planos de arquitectura convencionales de alzados, secciones o perspectivas, producto cuya utilidad y facilidad de manejo todos conocemos (fig. 13).

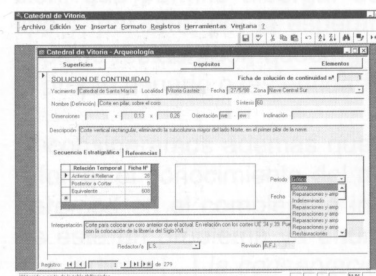
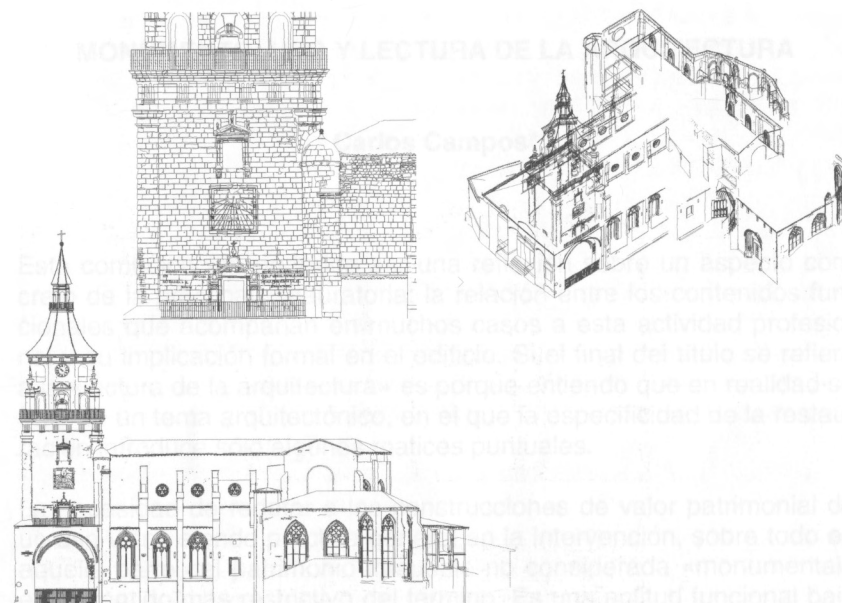
Para terminar, diremos que esta herramienta, con todo su poder gráfico, resulta coja sin el concurso de un sistema de almacenamiento de la información de todo tipo (fig. 14) que vamos acopiando durante la ejecución de los estudios que hemos venido en calificar restrictivamente como *previos*, cuando deben prolongarse permanentemente durante la ejecución de los trabajos de restauración y aun posterior-

mente, porque no somos nosotros quienes dejamos el edificio arreglado para siempre jamás.

El sistema de información permitirá el acopio y renovación de la información en todo momento. Su enlace con el modelo 3D se hace imprescindible si pensamos que no basta con saber que en la catedral hay 17 tipos de piedra distintos, sino que necesitamos conocer dónde se encuentran, porque los fenómenos físicos o químicos que pueden afectarles de diferente manera exigirán un mayor o menor coste de reparación en función de la cantidad del tipo de piedra afectado. No nos basta con un estudio cualitativo de los materiales y sus condiciones de conservación, sino que necesitamos su estimación cuantitativa a través de los planos temáticos. El sistema de información asociado al modelo 3D permite la conjunción de ambas cosas y es por ello una herramienta inestimable en la disciplina de la restauración de monumentos.

* **Leandro Cámara Muñoz**, arquitecto, miembro de la Academia del Partal (Madrid).

** **Pablo Latorre González-Moro**, arquitecto, miembro de la Academia del Partal (Madrid).



13. Obtención de planos convencionales en 2D. A partir del modelo 3D se proyecta sobre cualquier plano. Alzado sur y vista de suroeste de la catedral de Vitoria. LyC, SL, DFA (arriba)

14. Enlace del modelo 3D con bases de datos. Desarrollo de un sistema de información de la catedral de Vitoria. LyC, SL, A. Azkarate, J.I. Lasagabaster, J. Vicario. DFA (abajo).