

FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LA TÉCNICA DE LEVANTAMIENTO GRÁFICO CON ESCÁNER LÁSER PARA LA CATALOGACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL. APLICACIÓN A LA IGLESIA DE SAN FRANCISCO (PRIEGO DE CÓRDOBA)

STRENGTHS AND WEAKNESSES OF LASER SCANNER SURVEY TECHNIQUE FOR RECORDING CULTURAL HERITAGE. CASE STUDY OF THE CHURCH OF SAN FRANCISCO (PRIEGO DE CÓRDOBA)

Jesús Mataix Sanjuán, Carlos León Robles, Francisco de Paula Montes Tubío

doi: 10.4995/ega.2013.1535

El levantamiento gráfico de elementos del Patrimonio Cultural tiene una buena parte de su presente y futuro en el Escáner Láser Terrestre. Esta técnica, que aunque no es nueva está todavía en desarrollo, se basa en la adquisición masiva de información geométrica muy precisa de forma semiautomática con un escáner láser, que convenientemente tratada proporciona modelos muy realistas de monumentos y sitios.

Con objeto de analizar sus fortalezas y debilidades se ha aplicado esta técnica al levantamiento de la iglesia de San Francisco (Priego de Córdoba), Bien de Interés Cultural perteneciente al Conjunto Histórico-Artístico del casco antiguo de dicha ciudad. Los trabajos realizados y sus resultados muestran que es una técnica muy potente y de gran proyección de futuro, aunque todavía presenta ciertos problemas en el tratamiento de la información y en la caracterización geométrica de los elementos escaneados.

Palabras clave: Patrimonio cultural, Levantamiento gráfico, Escáner Láser Terrestre, Fortalezas y Debilidades.

Present and future of Cultural Heritage Surveying are intimately related to Terrestrial Laser Scanner. This technique, still under development despite not being new, is based on the massive, semi-automatic acquisition of precise geometric information with a laser scanner, which conveniently treated provides very realistic models of monuments and sites.

In order to analyse its strengths and weaknesses, this technique has been applied to the surveying of the San Francisco Church (Priego de Córdoba), an Asset of Cultural Interest belonging to the Historical-Artistic Area of the old part of this town. The work undertaken and its results show that this is a very powerful technique with great future development expectations, although it presents some problems in data management and in geometrical description of scanned items.

Keywords: Cultural heritage, Surveying, Terrestrial Laser Scanner, Strengths and Weaknesses.



1. Fachada principal de la iglesia de San Francisco.
2. Nave principal y retablo del Altar Mayor.
1. Main façade of the Church of San Francisco.
2. Main nave and altarpiece at Altar Mayor.



1



2

La iglesia de San Francisco. Contexto geográfico, histórico y social

Priego de Córdoba, situada en el extremo sudoriental de la provincia de Córdoba, tiene sus orígenes en las más antiguas civilizaciones de la historia andaluza. Son considerablemente abundantes los vestigios romanos, si bien fue la dominación árabe la que legó a la ciudad todo su esplendor. Durante el siglo IX, conocida la ciudad como *Medina Bagha* o *Medina Bahiga*, fue capital de una de las coras o provincias musulmanas. En la Reconquista cambió de dueño varias veces hasta su conquista definitiva en 1341 por Alfonso XI.

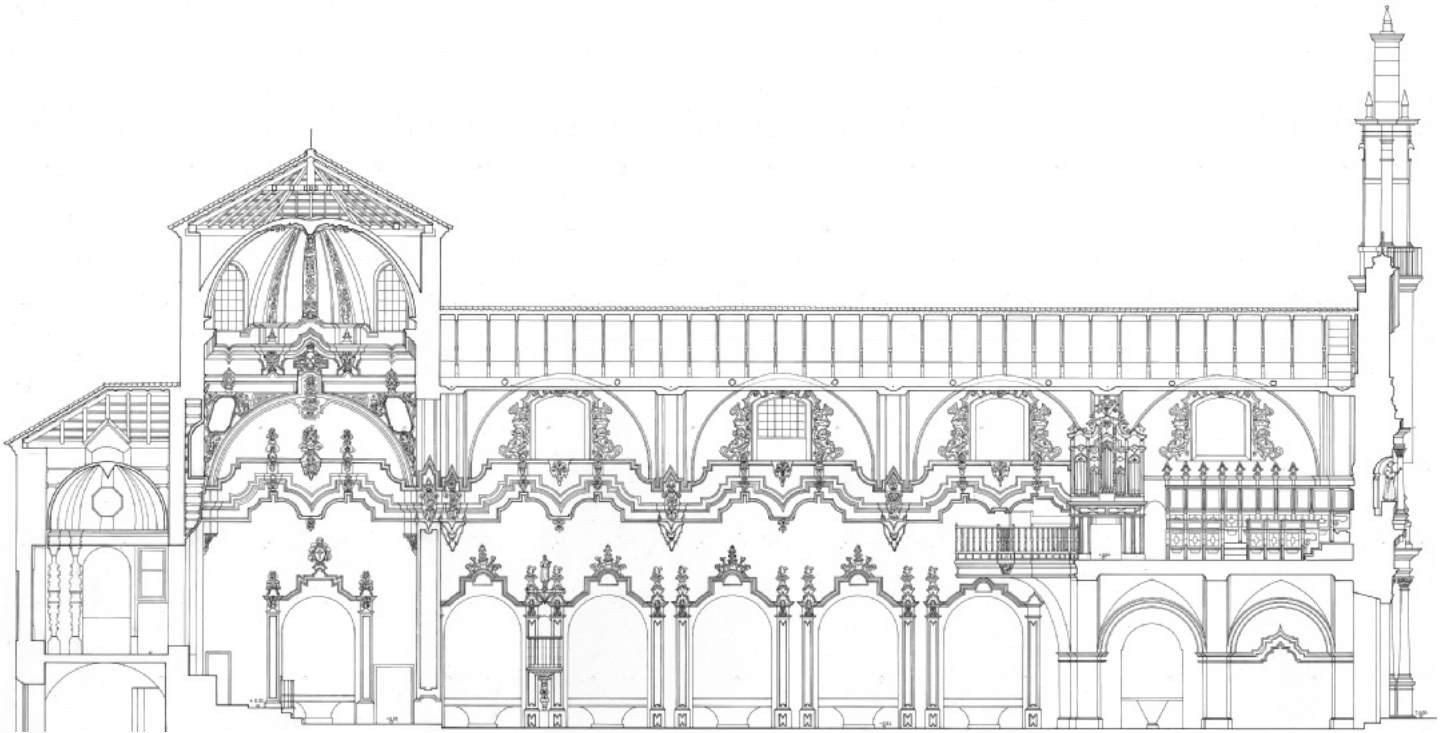
Priego es arquetipo de la ciudad andaluza. Su marco geográfico es rico en variedades arquitectónicas y sus calles y edificios ofrecen una notable armonía. Destaca el barrio denominado “La Villa”, de inspiración medieval y musulmana, hermano de los barrios andaluces más típicos como el Albaicín granadino o la Judería cordobesa.

De calles estrechas, retorcidas y apretadas sobre el Balcón del Adarve, este barrio alberga gran número de monumentos como el Castillo, restos de varias murallas, fuentes y, sobre todo, las iglesias, que constituyen un conjunto barroco de extraordinaria riqueza entre las que destacan la Parroquia de la Asunción y las iglesias de la Aurora y San Nicasio, San Pedro, San Francisco, etc. El casco antiguo de Priego fue declarado Conjunto Histórico-Artístico en 1972 (Decreto 3524/1972).

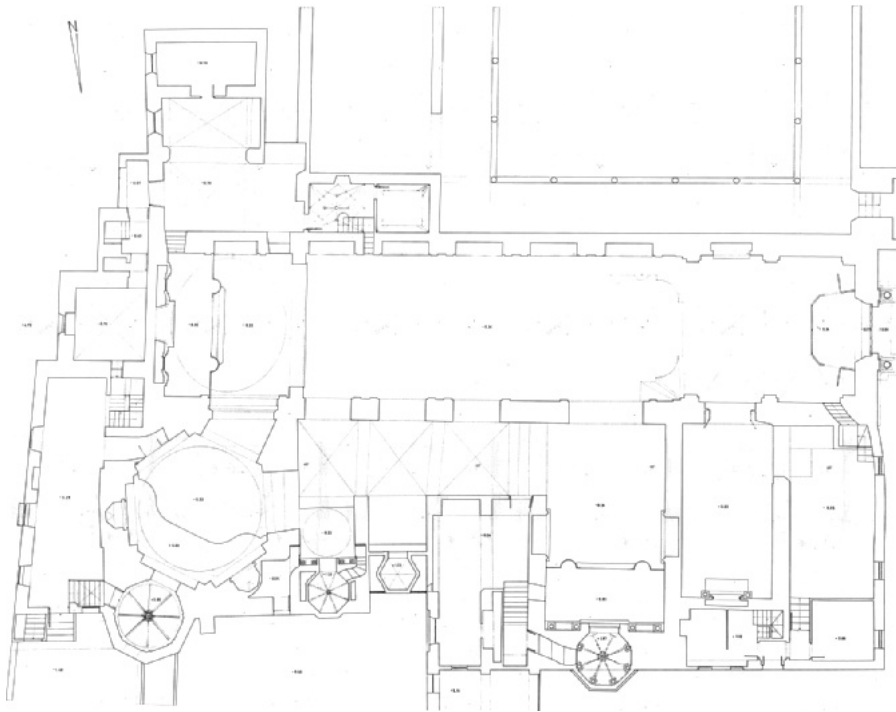
El Antiguo Convento e Iglesia de San Francisco fue inscrito en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz como Bien de Interés Cultural en 2003 (Orden 28/04/2003). Don Pedro Fernández de Córdoba y Pacheco, primer Marqués de Priego, mandó construirlo en 1510-1512 con el título de San Esteban. El convento se levantó en primer lugar y la iglesia después, prolongándose las obras hasta 1548-1549. Templo gótico-renacentista en un principio, la iglesia de San Francisco estaba constituida básicamente por la alargada nave principal (Figs. 1 y 2), de la que se

The Church of San Francisco. Geographical, historical and social context

Priego de Córdoba, located in the south-eastern corner of the province of Córdoba (Spain), has its origins in the oldest civilizations in the history of Andalusia. The Roman vestiges are rather abundant, though Moorish domination bequeathed the city its splendour. During the 9th century, known the city as *Medina Bagha* or *Medina Bahiga*, it was the capital of one of the coras or Muslim provinces. In the Christian Reconquest the city changed hands several times until its definitive conquest in 1341 by Alfonso XI. Priego is an archetypal Andalusian city, rich in architectural variety and with streets and buildings that offer remarkable harmony. Notably, the medieval Muslim quarter called “La Villa” resembles other typical Andalusian quarters such as the Albaicín in Granada or the Judería in Córdoba. With narrow and twisted streets, squeezed against the “Balcón del Adarve”, this quarter harbours a large number of monuments, including the remains of several city walls, the castle, fountains, and especially baroque churches of extraordinary richness, particularly the parish Church of the Asunción and the Churches of the Aurora and San Nicasio, San Pedro, and San Francisco. The old town of Priego was declared a Historic Artistic Site in 1972 (Spanish Decree 3524/1972).



3



4

3. Sección longitudinal por la nave principal (Sanz 1993).
4. Planta del interior del templo (Sanz 1993). Al sur de la nave principal se encuentra el Antiguo Convento de San Francisco.

3. Longitudinal section of the main nave (Sanz 1993).
4. Ground plan in the interior of the church (Sanz 1993).
On the south side of the main nave is located the Ancient Convent of San Francisco.

The Ancient Convent and the Church of San Francisco was registered in the General Catalogue of Andalusian Historical Heritage as an Asset of Cultural Interest in 2003 (Order 28/04/2003). Don Pedro Fernández de Córdoba y Pacheco, the first Marquis of Priego, ordered it to be built in 1510-1512 under the name of San Esteban (St. Stephen). The convent was built first and the church afterwards, the works extending to 1548-1549. Initially, a Later Gothic-Renaissance style temple, the Church of San Francisco was designed

conserva fundamentalmente la planta de salón. La configuración actual es el resultado de las diversas capillas añadidas en su lado norte para las distintas cofradías durante los siglos XVI, XVII y XVIII. Las obras realizadas durante el siglo XVIII, en las que participaron artistas de la importancia de Francisco Hurtado Izquierdo o Jerónimo Sánchez de Rueda, proporcio-

naron al templo su aspecto barroco actual. Entre 1988 y 1995 se efectuó su última restauración, a cargo del arquitecto Jerónimo Sanz Cabrera (1993; 2001), de cuyo levantamiento gráfico, realizado por medios tradicionales, proceden la planta y alzado de las figuras 3 y 4.

La complejidad espacial del templo, sus numerosas capillas, y la calidad de sus ornamentaciones y de la gran cantidad de bienes muebles que alberga, entre ellos algunas imágenes de gran valor devocional, hacen de San Francisco una joya del barroco prieguense.

La catalogación del Patrimonio Cultural. El levantamiento arquitectónico

La conservación del Patrimonio Cultural debe cimentarse en un profundo conocimiento del mismo, el cual se adquiere en un proceso sistemático de



catalogación de toda la información disponible. El concepto de levantamiento arquitectónico corresponde al conjunto de operaciones, medidas y análisis necesarios para comprender y documentar el bien arquitectónico en su configuración completa, referida al contexto urbano, histórico y territorial, y en sus características dimensionales y métricas, estructurales y constructivas, formales y funcionales (Almagro 2004). El levantamiento gráfico, o representación geométrica del elemento patrimonial en un modelo, es sólo una fase más del levantamiento arquitectónico. Su función no es sólo la de registrar la forma, tamaño y detalles del elemento a catalogar, sino que además permite identificar patologías que puedan afectar a su integridad estructural, como grietas y deformaciones.

Levantamiento de la iglesia de San Francisco con escáner láser

Se ha efectuado el levantamiento gráfico de la iglesia de San Francisco mediante escáner láser, con el doble objetivo de complementar el realizado por Sanz (1993) con medios tradicionales, y de identificar las fortalezas y debilidades de esta técnica para su aplicación en la catalogación del Patrimonio Cultural.

Existen básicamente cuatro sistemas de levantamiento gráfico de elementos arquitectónicos (Pavlidis et al. 2007): método tradicional, método topográfico, fotogrametría y escáner láser. Todas estas técnicas presentan ventajas y limitaciones por lo que no puede emitirse un juicio general acerca de cuál es la mejor. De hecho generalmente se requiere el empleo de varias técnicas en un mismo proyecto, en particular en el caso de monumentos grandes o complejos.

Se denomina levantamiento gráfico de alta definición (*High-Definition Survey, HDS*), a la captura de información geométrica rápida, detallada y precisa de una superficie o volumen por medio del dispositivo denominado Escáner Láser Terrestre (*Terrestrial Laser Scanner, TLS*) (Mañana-Borrazás, Blanco-Rotea y Rodríguez 2009). Los componentes de un escáner láser son en general los siguientes (Pons y Lerma 2005):

- a. *Sistema de captura de datos*: el escáner realiza el barrido del elemento a digitalizar mediante un haz de luz láser que va cambiando de orientación según incrementos constantes de giro. Cada rayo es reflejado por la superficie a registrar retornando al instrumento, que determina las coordenadas del punto en función de la distancia que los separa y de los ángulos que el rayo determina en el plano horizontal y con el eje vertical del escáner. Algunos equipos registran además la intensidad del rayo reflejado, lo que permite diferenciar los materiales según su nivel de refracción.
- b. *Cámara fotográfica*: las imágenes capturadas se utilizan principalmente para proporcionar colores realistas a los modelos.
- c. *Software para el procesamiento de los datos*: realiza operaciones tales como la referenciación en un mismo sistema de coordenadas de las nubes de puntos obtenidas en distintos estacionamientos, la realización de filtros y optimizaciones de la nube completa, etc (Boehler et al. 2002).
- d. *Sistema de posicionamiento espacial*: si se pretende georreferenciar el levantamiento es necesario determinar las coordenadas de varios puntos de control mediante técnicas topográficas.

basically with an elongated nave (Figs. 1 and 2), of which fundamentally its rectangular base remains. The current plan is the result of the addition of several chapels on its north side for the different religious brotherhoods during the 16th, 17th and 18th centuries. The works executed during the 18th century, when renowned artists such as Francisco Hurtado Izquierdo or Jerónimo Sánchez de Rueda took part, gave the building its current baroque appearance. The last restoration was undertaken from 1988 to 1995 by the architect Jerónimo Sanz Cabrera (1993; 2001), whose graphical survey using traditional means provided the ground plan and elevation shown in Figures 3 and 4.

The spatial complexity of the temple, its numerous chapels, and the quality of both the ornamentation and the large number of movable items it contains, some being images of great religious value, make the Church of San Francisco a jewel of the Baroque in Priego.

Cataloguing Cultural Heritage. Architectural surveying

The conservation of the cultural heritage should be based in well-founded knowledge acquired through a systematic process of recording all available information. Architectural surveying is defined as the set of operations, measurements, and analyses needed to understand and document the architectural item in its entirety, with reference to urban, historical, and territorial contexts, and in its dimensional and metric, structural and constructional, formal and functional characteristics (Almagro 2004). The geometrical representation of a heritage item in a model, which is known as graphical surveying, is only one of the stages of architectural surveying. Its function is not just to register the shape, size, and details of the item to be catalogued but also makes it possible to identify problems that could compromise its structural safety, such as cracks and deformations.

Laser scanner survey of the Church of San Francisco

We have performed the graphic survey of the church of San Francisco using a laser scanner, with the double objective of complementing the one made by Sanz (1993) using traditional means, and identifying the strengths and weaknesses of this technique for cataloguing cultural heritage.

There are essentially four graphic surveying techniques for architectural elements (Pavlidis et al. 2007): the traditional method, the topographical method, photogrammetry, and laser scanning. All of these techniques have advantages and limitations, so no general judgement can be issued about which of them is the best. In fact, a combination of several of these techniques is usually required in a single project, especially in the case of large or complex monuments. The use of a device called Terrestrial Laser Scanner (TLS) for acquiring rapid, detailed and precise geometrical information of a surface or volume is known as High-Definition Survey (HDS) (Mañana-Borrazás, Blanco-Rotea & Rodríguez 2009). The components of a laser scanner are as follows (Pons & Lerma 2005):

- a. *Data-acquisition system*: the scanner scans the element under study using a laser beam which changes in orientation according to constant turning increases. Each beam is reflected by the surface being surveyed and returns to the device, which determines the coordinates of the point on the basis of their distance apart and the angles determined by the beam in the horizontal plane with regard to the vertical axis of the scanner. Certain devices also register the intensity of the reflected beam, enabling the identification of the various materials according to their refraction index.
- b. *Photographic camera*: photographs are used mainly to provide realistic colours to digital models.
- c. *Data-processing software*: this performs tasks such as referencing point clouds taken from different observation points in a global coordinate system, filtering and optimising the complete point cloud, etc. (Boehler et al. 2002).
- d. *Spatial positioning system*: if the georeferencing of the survey is to be achieved, the coordinates of several control points need to be determined by means of topographical techniques.

Data acquisition

This process involves the following factors:

- a. *Number and location of laser scanner stations*: the scanner is unable to register areas that are not visible from its position, and therefore several stations are normally necessary to cover the complete survey.
- b. *Required point density*: the resolution is determined according to the distance between

5. Toma exterior.

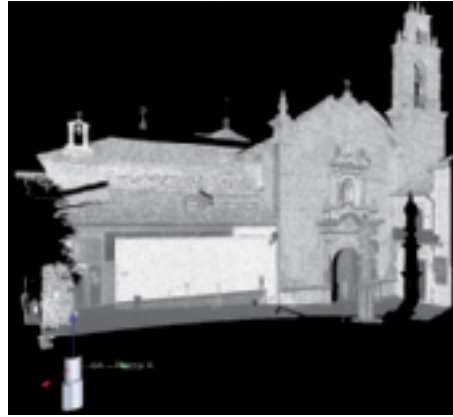
6. Reflectores empleados para el enlace de las tomas exteriores e interiores.

7. Toma de enlace entre el exterior y el interior.

5. Outdoor station.

6. Reflectors used for connecting outdoor and indoor stations.

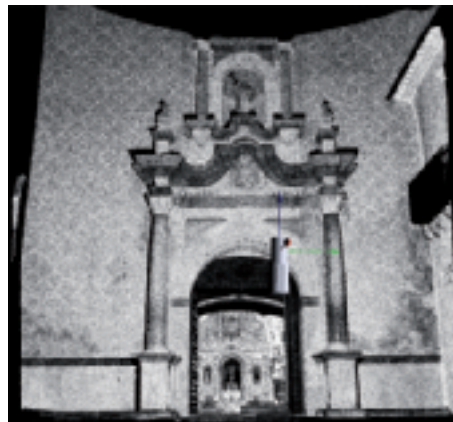
7. Exterior-interior connection station.



5



6



7

Toma de datos

En este proceso intervienen los siguientes aspectos:

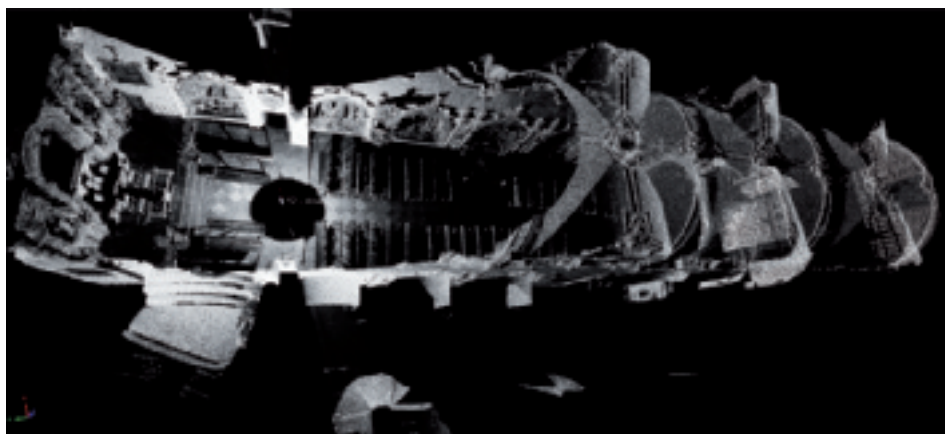
- a. *Número de estacionamientos del escáner láser y su posición*: el escáner no puede registrar zonas no visibles desde su posición, por lo que normalmente es preciso efectuar varias tomas para cubrir por completo el levantamiento (figuras 5, 8 y 9).
- b. *Densidad de puntos requerida*: la resolución se determina en función de la distancia entre el escáner y el área a registrar, su oblicuidad, la densidad de puntos requerida y el tiempo disponible para la captura.
- c. *Sistema de coordenadas a emplear*: el escáner determina las coordenadas de los puntos registrados en un sistema de referencia del propio instrumento en cada estacionamiento, por lo que cada barrido debe referenciarse a un sistema global (figuras 6 y 7).

La toma de datos está fuertemente influenciada por las características del elemento a levantar. En el levantamiento de la iglesia de San Francisco se presentaron las siguientes dificultades:

- Parte del perímetro de la iglesia está en contacto con otras edificaciones y por tanto no es visible.
- En el entorno no existen puntos altos desde los que registrar las cubiertas de la iglesia.
- La complejidad espacial de la iglesia obliga a la realización de gran cantidad de tomas.
- El volumen de las ornamentaciones y la altura de las naves y cúpulas hace prácticamente inviable el registro de toda la superficie interior, a no ser que se dispongan andamios u otros dispositivos para permitir estacionamientos en altura.
- La toma de datos en el horario de apertura al público de la iglesia se



8



9

complica por la inevitable presencia de visitantes y devotos.

Para el levantamiento de la iglesia de San Francisco fueron necesarias 36 tomas, 5 exteriores y 31 interiores, con una duración total de las mismas de 5 horas y 12 minutos, en las que se registraron 140,1 millones de puntos.

Procesamiento de los datos

La fase de procesamiento de la información geométrica es, con mucha diferencia, la que más tiempo consume del proceso de levantamiento gráfico. Se desarrolla generalmente en las siguientes fases (Pons y Lerma 2005):

a. Preedición de cada toma antes de su registro para eliminar los puntos sobrantes, no deseados o erróneos correspondientes a vegetación, transeúntes, mobiliario, etc (figuras 10

y 11). Aunque existen algoritmos capaces de identificar puntos erróneos, la gran variedad de elementos no deseados que pueden presentarse hace que este proceso sea básicamente manual.

- b. Registro de cada barrido al sistema de referencia elegido (figura 12). Esta operación puede realizarse de forma indirecta, mediante el enlace de las nubes de puntos, o de forma directa, determinando la posición y orientación del escáner en cada toma en relación a un sistema de referencia global.
- c. Filtrado y eliminación de la información duplicada en áreas de solape.
- d. Triangulación de la nube de puntos y extracción de las entidades que definen geoméricamente las superficies. La triangulación es un proceso semiautomático que nor-

8 y 9. Nubes de puntos generadas en dos tomas.

8 and 9. Point clouds acquired in two stations.

the scanner and the area to register, their obliqueness, the required point density, and the time available for the data acquisition.

- c. *Coordinate system to be used:* the scanner determines the coordinates of recorded points in a specific reference system at each station of the device, so that each acquired point cloud must be referenced in a global system (Figs. 6 and 7).

Data acquisition is strongly influenced by the characteristics of the element to be surveyed. In the case of the Church of San Francisco, the difficulties encountered were as follows:

- Part of the perimeter of the church is in contact with other buildings and therefore is not visible.
- There are no high vantage points near the church from which its roofs may be recorded.
- The spatial complexity of the church requires a great number of scanner stations.
- The volume of the ornaments and the height of naves and domes make it practically unfeasible to record the complete inner surface, except by using scaffoldings or other devices that enable elevated stations.
- The data acquisition during the public opening hours is complicated by the inevitable presence of visitors and devotees.

The survey of the church of San Francisco required 36 scanner stations, 5 outdoor and 31 indoor, with a total duration of 5 h and 12 min, in which 140.1 million points were recorded.

Data processing

Geometrical data processing is by far the most time-consuming stage in the graphical surveying process. It usually includes the following activities (Pons & Lerma 2005):

- a. Pre-editing of each scan before registering in order to remove leftover, unwanted, or erroneous points due to vegetation, people, furniture, etc. (Figs. 10 and 11). Although there are algorithms capable of identifying erroneous points, the large variety of unwanted elements that can exist make this process basically manual.
- b. Registration of each scan in the global reference system (Fig. 12). This task can be performed both indirectly, by adjusting the various point clouds, or directly, by determining the scanner position and orientation in each scan in relation to the global reference system.
- c. Filtering and removal of duplicated information in overlapping areas.

- d. Point-cloud triangulation and determination of the entities that geometrically define the surveyed surfaces. Triangulation is a semiautomatic process that normally requires much more time of computer work than of the operator's work. Instead, the process of identifying geometric entities is still basically manual, requires a high degree of operator specialization, and drains considerable time.
- e. Model texturing by incorporating photographs into the point cloud or triangle model.

The point cloud resulting of the 36 performed scans reached 82.6 million points. The management of such a volume of information required a high-performance computer, and still the work was slow and arduous, both in performing the various tasks (filtering, texturing, triangulating, etc) and in model management (viewport regeneration).

Output generation

Orthoimages, sections, perspectives, and geometrical models can be derived from a model of points, triangles, or geometric figures obtained from a laser scanner, and edited with a CAD application, videos, etc..

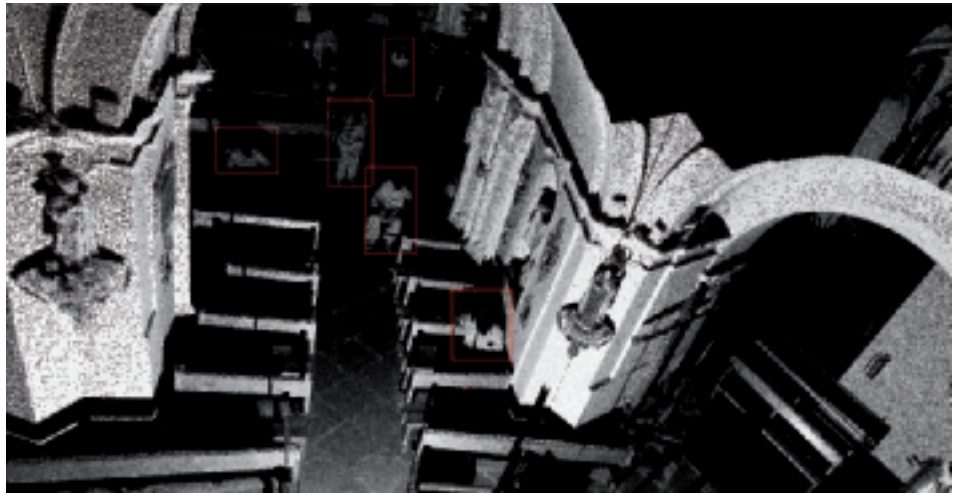
Since economic resources are normally limited, it is essential to plan the data processing according to required outputs. A sufficiently dense and optimised point cloud allows for several useful outputs, using shorter processing time than that needed to generate models of triangles or geometric entities, and constitutes a geometrical recording that can be updated, consulted and used for many different purposes.

The texturization of the point cloud or triangle model with photographs makes it possible to obtain realistic orthoimages with metrical validity. In the first case, the quality of these orthoimages depends essentially on the density of the point cloud and the quality of the photographs used in model texturing (Figs. 12 to 19).

However, a textured point cloud cannot acquire the same definition as a triangle model (Figs. 22 to 24), especially in close-ups, because colour is assigned to points instead of surfaces (Fig. 13). Nevertheless, if the object is far enough away, this effect is minimized and the output may be satisfactory.



10



11



12

malmente exige mucho más tiempo de computación que de trabajo del operador. Sin embargo el proceso de extracción de entidades geométricas es aún básicamente manual, requiere un alto grado de especialización por parte del operador y consume gran cantidad de tiempo.

- e. Texturización del modelo mediante la incorporación de fotografías al modelo de puntos o triángulos.

La nube resultante del registro de las 36 tomas efectuadas alcanza los 82,6 millones de puntos. La gestión de tal volumen de información ha requerido un ordenador de altas prestaciones, y aún así el trabajo ha sido



10 y 11. Puntos no deseados debidos a la presencia de personas durante la toma.

12. Registro de varias tomas de la fachada norte. Las zonas de color más intenso son las de mayor densidad de puntos.

10 and 11. Unwanted points due to the presence of persons during the scan.

12. Registration of several scans of the north façade. The most intense colour areas are those of the highest density of points.

lento y costoso, en lo relativo tanto a la ejecución de las distintas operaciones (filtrado, texturización, triangulación, etc) como en el manejo del modelo (regeneración de las vistas).

Generación de resultados

De los modelos de puntos, triángulos o entidades geométricas obtenidos de un levantamiento con escáner láser pueden extraerse ortoimágenes, secciones, perspectivas, modelos geométricos para su tratamiento en entorno CAD, vídeos, etc.

Puesto que normalmente los recursos económicos están limitados es fundamental planificar el procesamiento de los datos en función de los resultados deseados. Una nube de puntos suficientemente densa y optimizada permite la obtención de varios resultados útiles, empleando tiempos de procesamiento mucho más cortos que los necesarios para la generación de modelos de triángulos o de entidades geométricas, y constituye un registro geométrico actualizable que puede ser consultado y empleado para distintos fines.

La incorporación de fotografías a la nube de puntos o al modelo de triángulos permite la obtención de ortoimágenes realistas con validez métrica. En el primer caso la calidad de las ortoimágenes depende fundamentalmente de la densidad de la nube de puntos y de la calidad de las fotografías base de la textura (figuras 12 a 19).

Sin embargo, una nube de puntos texturizada no puede llegar a adquirir la misma definición que un modelo de triángulos (figuras 22 a 24), sobre todo a corta distancia, pues el color está asignado a elementos puntuales y no a elementos superficiales (figura 13). En cambio, si el objeto está suficientemente alejado este efecto se minimiza y el resultado puede ser satisfactorio.

Fortalezas y debilidades de la técnica

Los trabajos realizados han puesto de manifiesto las siguientes principales fortalezas y debilidades de la técnica de levantamiento gráfico con escáner láser:

Fortalezas

- La toma de datos es en general muy rápida. En poco tiempo se captura gran cantidad de información muy precisa que recoge todos los detalles del elemento registrado. No requiere además condiciones especiales de iluminación ya que el escáner puede incluso trabajar a oscuras.
- Los resultados obtenidos ofrecen gran realismo al poder incorporar al modelo los colores reales de los objetos escaneados.

Debilidades

- El escáner y los programas para el procesamiento de la información son costosos y especializados.
- El procesamiento del gran volumen de información recopilada requiere mucho tiempo y ordenadores de altas prestaciones.
- La forma indiscriminada y masiva con la que el escáner adquiere la información permite una rápida toma de datos en campo. Ahora bien, la nube de puntos obtenida no recoge las líneas y aristas que definen geoméricamente el elemento registrado; en la nube faltarán algunos de los puntos que las definen y habrá puntos redundantes, además de puntos erróneos no filtrados. Recomponer estas líneas y aristas en gabinete es enormemente complicado y laborioso, y requiere normalmente mucho más tiempo y esfuerzo que el ahorrado en la toma de datos.

Strengths and weaknesses of the technique

The works carried out have revealed the following strengths and weaknesses of the scanner laser survey technique:

Strengths

- Data acquisition is generally very rapid. In a short time a vast amount of precise information is captured with all the details of the element surveyed. Furthermore, no special lighting conditions are required because the scanner can work even in the dark.
- The resulting outputs are very realistic because of the incorporation into the model of the real colours of scanned objects.

Weaknesses

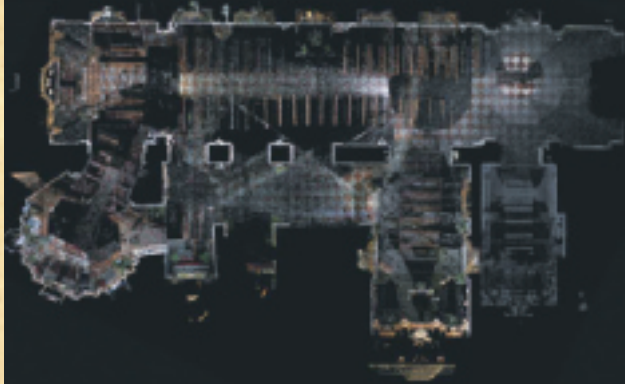
- Scanner and data processing software are expensive and specialized.
- Processing of the huge amount of information gathered requires a great deal of time and high-performance computers.
- The indiscriminate, massive way in which the scanner acquires the information enables rapid fieldwork. However, the resulting point cloud does not contain the lines and edges that geometrically define the surveyed element; that cloud would lack some of the points that define them and contain redundant and erroneous points. Recomposing these lines and edges in office is extremely complex and laborious, and normally requires much more time and effort than is saved in data acquisition.

Conclusions

Laser scanner survey technique currently presents two aspects not successfully solved: the processing of the huge amounts of information generated in the survey of large or complex monuments, such as the Church of San Francisco (Priego de Córdoba, Spain), and extracting from the point cloud the lines that geometrically define the surveyed elements. Nevertheless, because of its capacity for rapid and massive acquisition of very precise geometric information, the laser scanner occupies a prominent place in the present and future of graphic-survey techniques. In particular, in scanning sculpture and other relatively small elements, and in surveying archaeological remains or any other element that does not require geometric characterization, this technique remains unrivalled. ■



13



15



14



16



17



18



19



20

13. Detalle de una ortoimagen del modelo de puntos texturizado.

14. Perspectiva del exterior (modelo de puntos).

15. Planta del interior del templo (modelo de puntos).

16. Perspectiva de una sección oblicua de la nave principal (modelo de puntos).

17. Sección transversal de la nave principal por la Capilla Vera Cruz (modelo de puntos).

18 y 19. Alzados de las cúpulas del Altar Mayor (izquierda) y de Jesús Nazareno (derecha) (modelo de puntos).

20. Detalle de gran realismo de los retablos del lado sur (modelo de triángulos).

13. Detail of an orthoimage from the textured point model.

14. Exterior perspective (point model).

15. Plan of the interior of the temple (point model).

16. Perspective of an oblique section of the main nave (point model).

17. Cross section of the main nave at Vera Cruz Chapel (point model).

18 and 19. Elevations of the domes of Altar Mayor (left) and Jesús Nazareno (right) (point model).

20. Highly realistic detail of altarpieces at the south side (triangle model).



21

21. Perspectiva del retablo del Altar Mayor (modelo de triángulos).
22. Perspectiva de la cúpula del Altar Mayor (modelo de triángulos).

21. Perspective of the altarpiece at Altar Mayor (triangle model).
22. Perspective of the dome at Altar Mayor (triangle model).



22

Conclusiones

La técnica de levantamiento gráfico con escáner láser presenta actualmente dos aspectos no resueltos satisfactoriamente: el procesamiento de los grandes volúmenes de información generados en el levantamiento de monumentos grandes o complejos, como la iglesia de San Francisco, y la extracción de la nube de puntos de las líneas que definen geoméricamente los elementos escaneados. Sin embargo, por su capacidad de adquirir rápida y masivamente información geométrica muy precisa el escáner láser ocupa un lugar destacado en el presente y futuro de las técnicas de levantamiento gráfico. En concreto, en el escaneo de esculturas y otros elementos pequeños, y en el levantamiento de restos arqueológicos o de cualquier otro elemento que no requiera caracterización geométrica, esta técnica no tiene rival. ■

Referencias

- ALMAGRO, A., 2004. *Levantamiento arquitectónico*. Granada: Universidad de Granada.
- BOEHLER, W. et al., 2002. 3D scanning software: an introduction. *International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*. ISPRS/CIPA, 1-2 de septiembre de 2002.
- España, 1972. Decreto 3524/1972, de 7 de diciembre, por el que se declara conjunto histórico-artístico el casco antiguo de la ciudad de Priego de Córdoba. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de diciembre de 1972, 311, pp. 23162-23163.
- Junta de Andalucía, 2003. Orden de 28 de abril de 2003, por la que se resuelve inscribir con carácter específico en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz, como Monumento, el Bien denominado Iglesia y antiguo Convento de San Francisco, en Priego de Córdoba (Córdoba). *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 4 de junio de 2003, 105, pp. 11.956-11.966.
- MAÑANA-BORRAZAS, P., BLANCO-ROTEA, R. Y RODRÍGUEZ, A., 2009. La documentación geométrica de elementos patrimoniales con láser escáner terrestre. La experiencia del LaPa en Galicia. *Cuadernos de estudios gallegos*, 122, pp. 33-65.
- PAVLIDIS, G., KOUTSOUDIS, A., ARNAOUTOGLU, F., TSIUKAS, V. Y CHAMZAS, C., 2007. Methods for 3D digitization of cultural heritage. *Journal of cultural heritage*, 8(1), pp. 93-98.
- PONS, J.M. Y LERMA, J.L., 2005. El Láser Escáner Terrestre: Una potente herramienta de digitalización 3D. *Topografía y cartografía: Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*, 129, pp. 10-19.
- SANZ, J., 1993. *Iglesia de San Francisco de Priego de Córdoba. Levantamiento planimétrico y restauración. Proyecto básico y de ejecución*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Delegación Provincial de Córdoba.
- SANZ, J., 2001. *Restauración de San Francisco de Priego de Córdoba. Metodología y obra*. Córdoba: Diputación de Córdoba. Delegación de Cultura.

References

- ALMAGRO, A., 2004. *Levantamiento arquitectónico*. Granada: Universidad de Granada.
- BOEHLER, W. et al., 2002. 3D scanning software: an introduction. *International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*. ISPRS/CIPA, 1-2 de septiembre de 2002.
- España, 1972. Decreto 3524/1972, de 7 de diciembre, por el que se declara conjunto histórico-artístico el casco antiguo de la ciudad de Priego de Córdoba. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de diciembre de 1972, 311, pp. 23162-23163.
- Junta de Andalucía, 2003. Orden de 28 de abril de 2003, por la que se resuelve inscribir con carácter específico en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz, como Monumento, el Bien denominado Iglesia y antiguo Convento de San Francisco, en Priego de Córdoba (Córdoba). *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 4 de junio de 2003, 105, pp. 11.956-11.966.
- MAÑANA-BORRAZAS, P., BLANCO-ROTEA, R. Y RODRÍGUEZ, A., 2009. La documentación geométrica de elementos patrimoniales con láser escáner terrestre. La experiencia del LaPa en Galicia. *Cuadernos de estudios gallegos*, 122, pp. 33-65.
- PAVLIDIS, G., KOUTSOUDIS, A., ARNAOUTOGLU, F., TSIUKAS, V. Y CHAMZAS, C., 2007. Methods for 3D digitization of cultural heritage. *Journal of cultural heritage*, 8(1), pp. 93-98.
- PONS, J.M. Y LERMA, J.L., 2005. El Láser Escáner Terrestre: Una potente herramienta de digitalización 3D. *Topografía y cartografía: Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*, 129, pp. 10-19.
- SANZ, J., 1993. *Iglesia de San Francisco de Priego de Córdoba. Levantamiento planimétrico y restauración. Proyecto básico y de ejecución*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Delegación Provincial de Córdoba.
- SANZ, J., 2001. *Restauración de San Francisco de Priego de Córdoba. Metodología y obra*. Córdoba: Diputación de Córdoba. Delegación de Cultura.