

## LUZ ESTRUCTURADA EN LA RECONSTRUCCIÓN DIGITAL DE DETALLES ARQUITECTÓNICOS

## STRUCTURED LIGHT IN THE DIGITAL RECONSTRUCTION OF ARCHITECTURAL DETAILS

*Carlos León Robles, Juan Francisco Reinoso Gordo,  
Jesús Mataix Sanjuán*

doi: 10.4995/ega.2018.9810

El interés en la catalogación del patrimonio histórico ha supuesto un creciente desarrollo de las técnicas de escaneado en tres dimensiones en los últimos años. En el presente trabajo se introduce la técnica de luz estructurada como un método de digitalización que, a pesar de sus limitaciones, es una potente herramienta para el levantamiento de detalles arquitectónicos.

Los resultados obtenidos con la luz estructurada en el levantamiento arquitectónico del Hospital Real de la Universidad de Granada han sido satisfactorios como sustitutivo o complemento al escáner láser y la fotogrametría digital.

**PALABRAS CLAVE: LUZ ESTRUCTURADA. RECONSTRUCCIÓN 3D. PATRIMONIO HISTÓRICO. LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO**

---

*The interest in cataloguing historical heritage has involved the growing development of techniques of three-dimensional scanning in recent years. The present work introduces the technique of structured light as a digitalization method that despite its limitations provides a powerful tool for surveying architectural details. The results found with structured light in the architectural survey of the Hospital Real of the Universidad de Granada (Spain) have been satisfactory as a substitute or a complement to the laser scanner and digital photography.*

**KEYWORDS: STRUCTURED LIGHT. 3D RECONSTRUCTION. CULTURAL HERITAGE. ARCHITECTURAL SURVEY**



## Introducción

La obtención de modelos tridimensionales digitales del patrimonio histórico es un campo de investigación al que se ha prestado especial atención en la última década, y en el que se sigue trabajando intensamente debido a los avances tecnológicos que se están produciendo, y a que aún quedan grandes retos por resolver. Los motivos por los que interesa realizar la reconstrucción tridimensional del patrimonio son diversos (Gomes *et al* 2014): garantizar que la información de la forma y textura de un determinado elemento no se pierda en caso de que desaparezca o se dañe, registro de geometrías o texturas complejas que no puedan ser obtenidas fácilmente de forma directa, creación de réplicas, creación de colecciones de arte digital que permitan su difusión a gran escala y detección de falsificaciones.

Las características deseables que debería reunir un equipo y método para realizar un levantamiento arquitectónico son las siguientes (Remondino *et al* 2010):

1. Calidad: el sensor debe tener la resolución y precisión adecuados para el tipo de trabajo a realizar, así como la estabilidad necesaria ante las variaciones de luz, viento, temperatura, presión atmosférica, etc que pudieran producirse durante las tomas.
2. Flexibilidad del equipo: los elementos a levantar pueden presentar problemas de accesibilidad, así como dimensiones y texturas diversas, por lo que cuestiones como el peso, necesidad de electricidad, adaptabilidad y alcance de los equipos pueden ser determinantes a la hora de elegir la tecnología o tecnologías a emplear.

3. Tiempo de adquisición: la presencia de visitantes en el patrimonio histórico puede limitar considerablemente los periodos en los que se pueden adquirir los datos, por lo que el empleo de equipos que realicen las tomas con mayor rapidez puede ser necesario.
4. Precio: el precio de adquisición de los distintos sensores varía sustancialmente, tanto de una tipología a otra como dentro de la misma tipología, y los presupuestos destinados a los levantamientos arquitectónicos suelen ser limitados, por lo que este aspecto puede llegar a ser determinante en cuanto a la elección de los equipos a emplear.

En la actualidad no existe una tecnología única que permita reconstruir tridimensionalmente la variedad de elementos y casuística que se presentan en el patrimonio histórico, siendo preciso recurrir a diversas técnicas con la finalidad de obtener una fusión final. Son numerosos los procedimientos y sensores que se han desarrollado en las últimas décadas para esta finalidad (Godin *et al* 2002; Pavlidis *et al* 2007), siendo los más empleados el láser escáner basado en la triangulación o el tiempo de vuelo (Mataix *et al* 2013), la fotogrametría digital aérea y terrestre, la luz estructurada, los métodos topográficos clásicos y el escáner de contacto.

## Escaneado con luz estructurada

La técnica de la luz estructura consiste en la emisión de patrones de luz mediante un proyector y el registro mediante una cámara de la deformación que sufre este haz de

## Introduction

The building of digital 3D models of historical heritage is a field of research that has attracted attention during the last decade and in which intense work continues due to the technological advances under way and the great challenges that remain. The reasons behind the 3D reconstruction of historical reconstruction are diverse (Gomes *et al* 2014): to ensure that information concerning the shape and texture of a given element is not lost in case that it should disappear or become damaged; to record the complex geometry or texture that cannot easily be apprehended directly; to create replicas; to collect digital art for large-scale dissemination and the detection of forgeries.

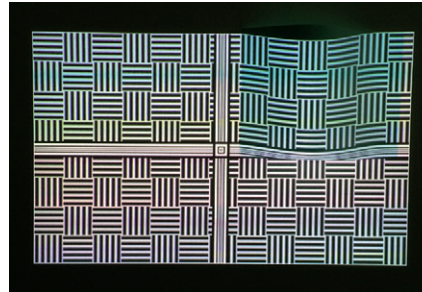
The characteristics of the equipment or methods recommended to undertake an architectural survey are the following (Remondino *et al* 2010):

1. Quality: the sensor should have adequate resolution and precision for the type of work to be undertaken, together with the necessary stability regarding light, wind, temperature, atmospheric pressure, etc. that could intervene during the image taking.
2. Equipment flexibility: the elements to survey may present accessibility difficulties as well as problematic dimensions and textures, and therefore factors such as weight, need of electricity, adaptability, and reach of the equipment can be determinant.
3. Acquisition time: the presence of visitors to a historical site may considerably limit the periods in which the data can be acquired, and thus high-speed equipment may be necessary in taking images.
4. Price: the different sensors may vary substantially in cost, depending on type and even specifications within the same type, and the budgets for architectural surveys are usually limited, so that this issue may become determinant in choosing the equipment.

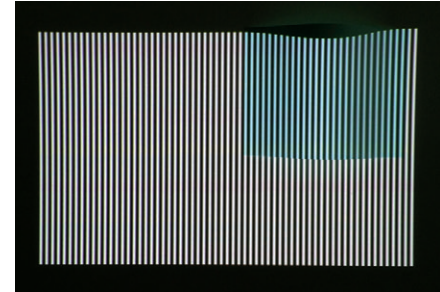
Currently, no single technology enables the 3D reconstruction of the vast diversity of elements and casuistry found in historical heritage, making it necessary to use a combination of techniques with the aim of a final fusion. Many procedures and sensors have been developed in recent decades for this end (Godin *et al* 2002; Pavlidis *et al* 2007), the most commonly used being the laser scanner based on the triangulation or flight time (Mataix *et al* 2013), the contact scanner, conventional topographical methods, aerial and terrestrial digital photography, and structured light.



1a



1b



1c

1. (a) Proyector y cámara de un equipo de luz estructurada 1. (b) y (c) Deformación en la esquina superior derecha de un patrón de luz como consecuencia del relieve

1. (a) Projector and camera of structured-light equipment 1; (b) and (c) deformation in the upper right corner of a pattern of light as a result of the relief

## Scanning with structured light

The structured-light technique consists of emitting light patterns from a projector and using a camera to record the deformation that the beam of light undergoes on being projected over an object to be modelled (Fig. 1). Therefore, it could be classified as a short-range non-contact active scanner since it registers the reflection of radiation emitted over an element. Given that the axes of the projector and camera are not parallel (they form an angle of 20 to 25°), the depth of the scene is determined by analysing the deformation undergone by the light pattern projected by triangulation. The calibration of the system gives the relative position between the projector and the camera (distance and angle), as well as the focal parameters relative to the inside orientation. The calibration process, in which the adjustment of brightness of the scene is crucial, is performed by reading calibration panels bearing a reticle with a known geometric definition.

After the system is calibrated, the workflow in a 3D reconstruction is as follows (Bernardine and Rushmeier 2002): 1) taking the various images that enable the depth and colour acquisition of the entire element to be modelled; 2) relative alignment of the takes for positioning them in a common reference system in a known process such as registration; and 3) fusion of the takes to construct a continuous model, both in geometry and in texture.

The precision and resolution expected from the scanner depend on, among other factors, the distance between the equipment and the object, the size of the object, and the distance and angle used between the projector and the camera, which can vary from 0.05 to 0.5 mm, depending on the conditions of the take. In the survey of the architectural details, the distance to the objective is usually less than 1.2 m, and therefore the scanned area is limited to the

luz como consecuencia de su proyección sobre el objeto del que se pretende obtener el modelo (Fig. 1). Por tanto, se podría clasificar como un escáner sin contacto de corto alcance y de tipo activo al registrar el reflejo de una radiación emitida sobre el elemento.

Dado que los ejes del proyector y la cámara no son paralelos (forman un ángulo comprendido entre 20 y 25°), la profundidad de la escena se obtiene analizando la deformación sufrida por el patrón de luz proyectada mediante el principio de la triangulación. La calibración del sistema permite obtener la posición relativa entre el proyector y la cámara (distancia y ángulo), así como los parámetros focales relativos a la orientación interna. El proceso de calibración, en el que el ajuste del brillo de la escena tiene un papel crucial, se realiza mediante la lectura de unos paneles de calibración en el que existe una retícula cuya definición geométrica es perfectamente conocida.

Una vez calibrado el sistema el flujo de trabajo en una reconstrucción tridimensional es el siguiente (Bernardine y Rushmeier 2002): 1) realización de las diversas tomas que permitan la adquisición de profundidad y color de todo el elemento a modelizar, 2) alineación relativa de las tomas para posicionarlas

en un sistema de referencia común en un proceso conocido como registro y 3) fusión de las tomas para obtener un modelo continuo, tanto en geometría como en textura.

La precisión y resolución esperada del escaneado depende, entre otros factores, de la distancia entre el equipo y el objeto, el tamaño del objeto y la distancia y ángulo existentes entre el proyector y la cámara, pudiendo variar de 0,05 a 0,5 mm según las condiciones de la toma. En el levantamiento de detalles arquitectónicos la distancia al objetivo suele ser inferior a 1,2 m, por lo que la zona escaneada queda limitada a la porción de la misma que queda dentro del campo de visión de la cámara, lo que tiene como consecuencia que para obtener el modelo de todo el elemento sean precisas varias tomas realizadas desde distintos puntos de vista (Fig. 2).

Cada una de las tomas tiene su propio sistema de referencia al ser realizadas desde distintos puntos de vista, por lo que es preciso posicionarlas en un sistema global en un proceso conocido como registro o alineación. El procedimiento más empleado es alinear una toma con la siguiente formando un par, para lo cual es preciso que exista un solape entre las mismas que en general debe ser superior al 20%.



2. Arranque de pilar en el Patio de la Capilla del Hospital Real. Universidad de Granada (a) Cara completa del pilar. (b) Zona registrada por una toma a una distancia de 90 cm

2. Base of a pillar in the Patio de la Capilla of the Hospital Real, University of Granada; (a) complete side of the pillar; (b) area recorded from a distance of 90 cm

Es usual realizar el proceso de registro entre pares en dos pasos: en primer lugar se emplea un algoritmo de alineación previa mediante el cual se alinean de forma aproximada las dos superficies cuya posición relativa es desconocida y en segundo lugar se lleva a cabo una alineación fina mediante un proceso iterativo que persigue el ajuste más preciso posible entre ambas (Fig. 3a). Finalmente, si el número de tomas es elevado y cada una de ellas se alinea apoyándose en las anteriores los pequeños errores de alineación se pueden propagar durante el proceso, provocando errores de cierre que pueden llegar a ser importantes; para solventarlo se realiza un registro fino global final en el cual se reparte el error acumulado entre todas las tomas mediante sucesivas iteraciones (Fig. 3c).

Lógicamente, las alineaciones se hacen teniendo en cuenta la geometría de ambas tomas, pero también se puede hacer intervenir la textura obtenida mediante la cámara, lo cual en algunas ocasiones resulta imprescindible (Fig. 3b). La reconstrucción del mapa de color se realiza

mediante una interpretación RGB de la imagen tomada por la cámara, obteniendo una aproximación a la textura original combinando los tres valores de intensidad.

El paso final del proceso consiste en la fusión de todas las tomas con la finalidad de obtener una malla de triángulos continua que defina la geometría del objeto, así como su texturizado (Fig. 4).

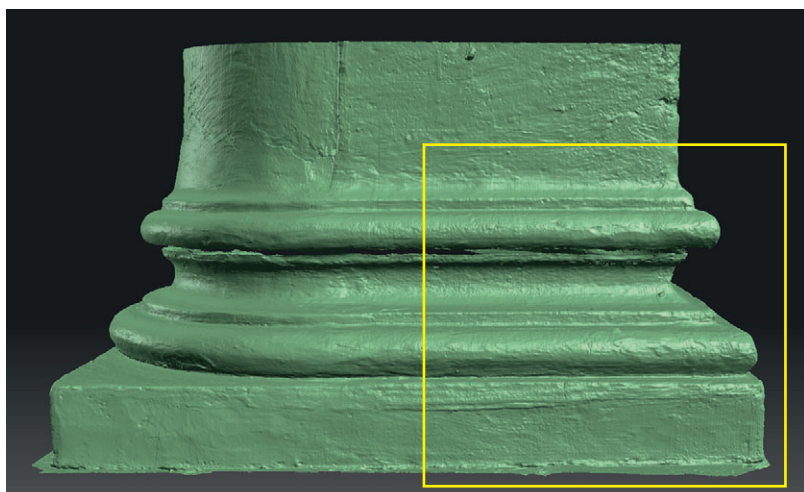
Hay ocasiones en las que no es posible digitalizar parte de los elementos de interés, como suele ocurrir en las zonas cóncavas, y es preciso recurrir a herramientas de cierre de estos huecos (Fig. 5). El relleno de huecos no siempre arroja resultados satisfactorios debido a la gran cantidad de geometrías abiertas que se pueden presentar (Davis *et al* 2002), pudiendo llegar a modelizaciones erróneas que no representan la realidad.

La precisión geométrica de los detalles arquitectónicos escaneados mediante luz estructurada se ha evaluado comparando la nube de puntos generada con las superficies homólogas obtenidas mediante fotogrametría digital y escáner láser.

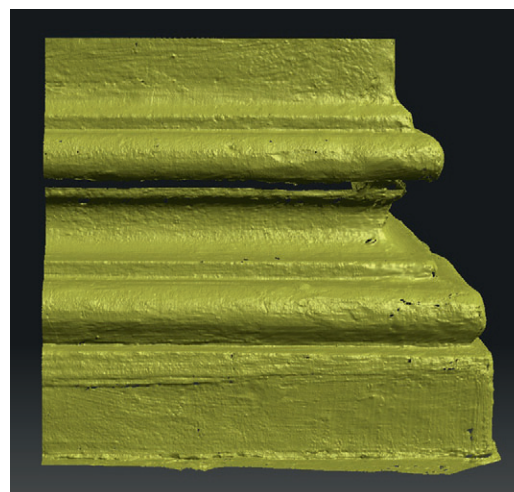
portion that lies within the field of vision of the camera. As a result, to model the entire element, several takes are necessary from different points of view (Fig. 2).

Each of the takes has its own reference system, on being shot from different points of view, and therefore it is necessary to position them within a global system in a process known as registration or alignment. The most commonly used procedure is to align one take with the next, forming a pair, this requiring an overlap of generally > 20%. Usually, the pairing process has two steps: first, a prior alignment algorithm is used, by which the two surfaces with an unknown relative position are roughly aligned, and secondly a fine alignment is made by an iterative process seeking the most precise adjustment possible between the two surfaces (Fig. 3a). Finally, if the number of takes is high and each is aligned on the basis of the previous ones, the minor alignment errors can propagate during the process, provoking final errors that can become critical. To solve this, a final fine overall registration is made in which the cumulative error is divided among all the takes by successive iterations (Fig. 3c).

The alignments of course are made taking into account the geometry of the two takes, but also the texture captured by the camera can be considered and is sometimes indispensable (Fig. 3b). The colour map is reconstructed by an RGB interpretation of the image taken by the camera, resulting in an approximation of the original texture by combining the three intensity values. The final step of the process consists of the fusion of all the takes in order to create a network of continuous triangles that define the geometry of



2a



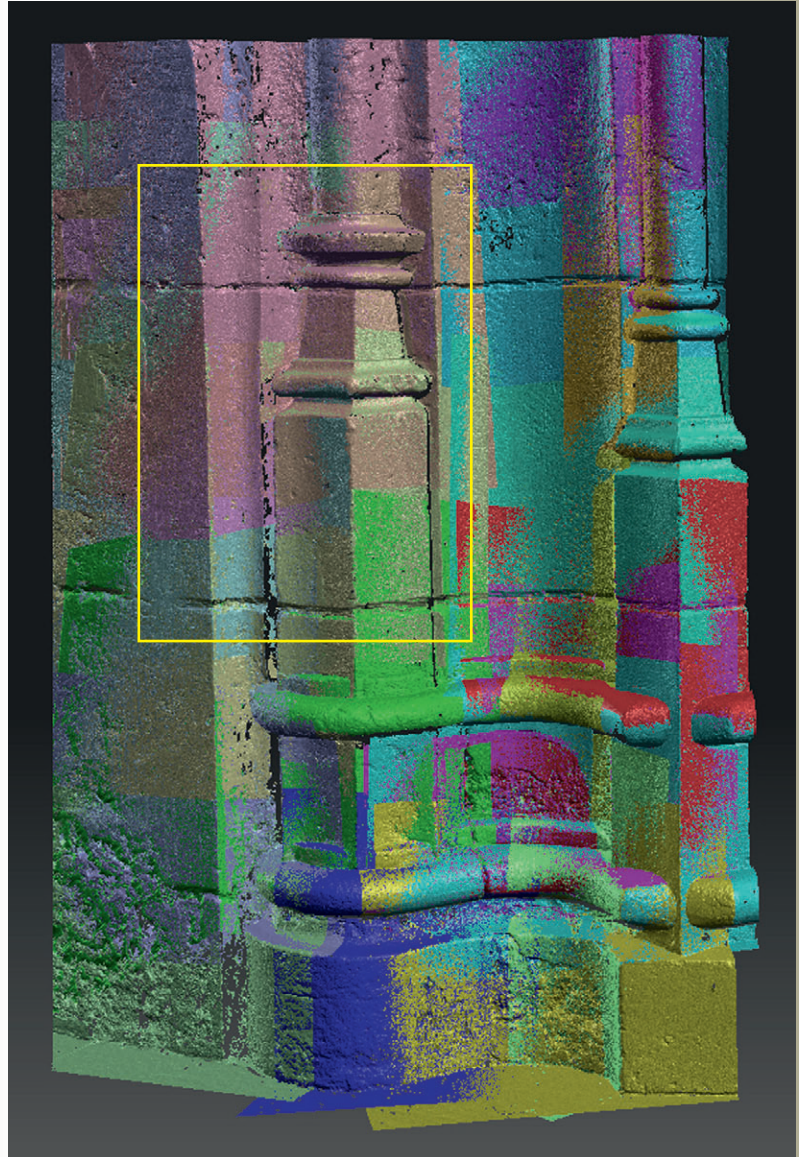
2b



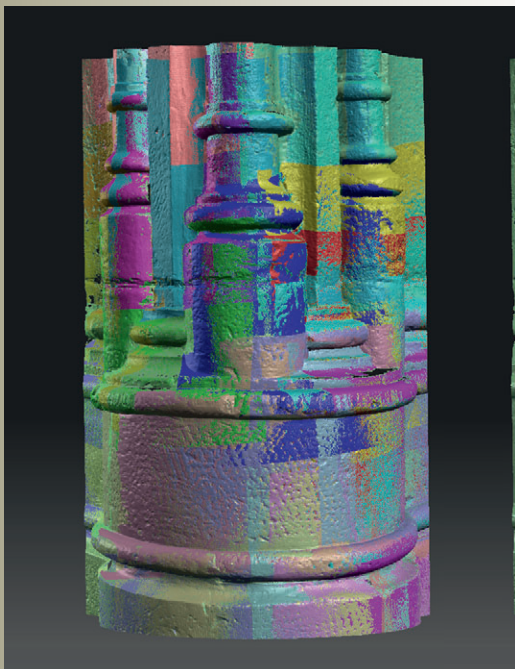
3a



3b



3c



4a



4b



4c



- 3. Columna de entrada en el Hospital Real. Universidad de Granada. (a) Alineación entre dos tomas consecutivas. (b) Textura de dos tomas consecutivas empleadas en la alineación. (c) Alineación de 36 tomas en la columna
- 4. Columna en la Biblioteca del Hospital Real. Universidad de Granada. (a) Alineación entre las 29 tomas. (b) Geometría resultante de la fusión. (c) Textura resultante de la fusión

- 3. Pier at the entry of the Hospital Real, University of Granada; (a) alignment between two consecutive takes; (b) texture of two consecutive takes used in the alignment; (c) alignment of 36 takes of the pier
- 4. Column in the Library of the Hospital Real, University of Granada; (a) alignment of 29 takes; (b) resulting geometry of the fusion; (c) resulting texture of the fusion

Para ello se han seleccionado ocho muestras de elementos arquitectónicos con geometrías diferenciadas pertenecientes al Hospital Real de Granada (Fig. 6).

Partiendo de la nube de puntos generada para la muestra mediante luz estructurada se ha calculado punto a punto la distancia existente entre la misma y las superficies obtenidas mediante fotogrametría digital y escáner láser (Fig. 7) 2. La confrontación entre las superficies ha permitido conocer el error medio ( $E_{medio}$ ) y la desviación típica ( $\sigma$ ) de las ocho muestras (Tabla 1), obteniéndose un error medio máximo de 1,3 mm correspondiente a la muestra 6.

El criterio adoptado para rechazar o aceptar la equivalencia geométrica entre las superficies obtenidas con luz estructurada y las derivadas a partir de fotogrametría digital o escáner láser se basa en que la diferencia entre ambas superficies tenga o no representación gráfica en función de la escala de representación del objeto estudiado. Estableciendo como tolerancia para la equivalencia geométrica las precisiones aceptables en función de la escala de representación recogidas en la tabla 2 (Bryan *et al* 2015), se concluye con que las superficies obtenidas con las tres técnicas son equivalentes cuando el detalle arquitectónico se represente a una escala 1:10.

Si bien la precisión geométrica es importante en la modelización hay ocasiones en las que la textura del elemento puede ser igual o más importante. Tal es el caso de objetos pintados o cuando se precise obtener modelos muy realistas. Sin embargo, al igual que ocurre con el escáner láser, las cámaras presentes en los escáneres de luz estructurada

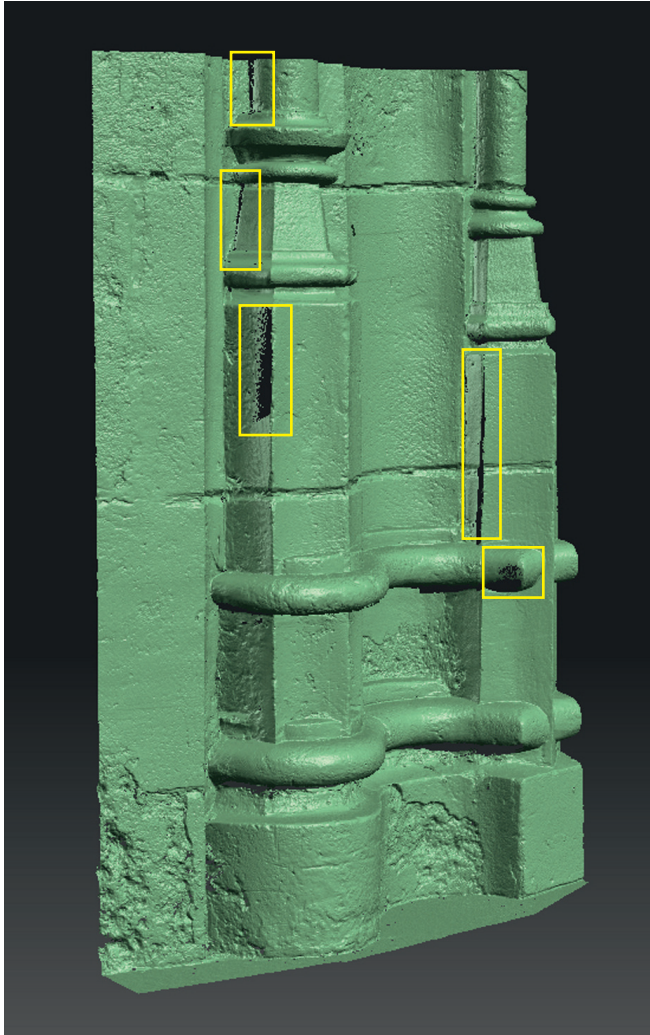
the object, as well as its texturing (Fig. 4). At times it is not possible to digitalize part of the element of interest, as often occurs in concave areas, and it becomes necessary to resort to tools for filling in these hollows (Fig. 5). The filling of hollows or gaps does not always offer satisfactory results due to the large quantity of open geometries that may be involved (Davis *et al.* 2002), and this can lead to erroneous modelling that does not accurately represent reality. The geometrical precision of the architectural details scanned by structured light has been evaluated by comparing a cloud of points generated with the homologous surfaces from digital photography and laser scanning. For this, eight samples of architectural elements with different geometries were selected at the Hospital Real of the University of Granada (Fig. 6). From the cloud of points generated for the sample using structured light, a point-to-point calculation was made of the distance between the structured light surface and the surfaces captured by digital photography and laser scanning (Fig. 7) 2. The comparison between surfaces has enabled the mean error ( $E_{medio}$ ) and standard deviation ( $\sigma$ ) to be calculated for eight samples (Table 1), giving a maximum mean error of 1.3 mm for sample 6. The criterion adopted to accept or reject the geometric equivalence between the surfaces captured with structured light and those derived from digital photography or laser scanning was based on the fact that the difference between the two surfaces were or were not

Muestra Sample	Fotogrametría Digital photography		Láser escáner Laser scanner	
	$E_{medio}$ (m) $E_{mean}$ (m)	$\sigma$ $\sigma$	$E_{medio}$ (m) $E_{mean}$ (m)	$\sigma$ $\sigma$
1	0,000166	0,002421	0,000201	0,002917
2	0,000166	0,002421	0,000201	0,002917
3	0,001117	0,005571	0,000202	0,002129
4	0,000125	0,003725	0,000044	0,002278
5	0,000021	0,004546	0,000478	0,005819
6	0,000319	0,001126	0,001248	0,003686
7	0,000376	0,006262	0,000454	0,006227
8	0,000048	0,002819	0,000125	0,002743

Tabla 1 / Table 1

Escala Scale	Precisión aceptable Acceptable precision
1:10	± 5 mm
1:20	± 6 mm
1:50	± 15 mm
1:100	± 30 mm
1:200	± 60 mm
1:500	± 150 mm

Tabla 2 / Table 2



5a



5b

graphically represented as a function of the representational scale of the object studied. With the acceptable precision according to the representational scale listed in Table 2 (Bryan *et al.* 2015) established as the tolerance for geometric equivalence, the conclusion is that the surfaces resulting from the three techniques are equivalent when the architectural detail is represented on a scale of 1:10.

Figure 7: Architectural detail in the Hospital Real. Comparison of the cloud of points for sample 2; (a) structured-light photography; (b) structured light-laser scanning.

Although geometric precision is crucial in the modelling, sometimes the texture of the element can be equally or more so. This is true of painted objects or when it is necessary to depict highly realistic models. However, as occurs with the laser scanner, cameras incorporated in structured-light scanners usually lack high resolution and therefore, in cases requiring the colour of the scene to be catalogued, it is more suitable to model the element with digital photography or make a fusion between the geometry generated with the structured light

no suelen tener una resolución elevada, por lo que en los casos en que sea preciso catalogar el color de la escena será más adecuado recurrir a la modelización del elemento mediante técnicas fotogramétricas digitales, o bien realizar una fusión entre la geometría generada con luz estructurada y el mapa de texturas obtenido con cámaras fotográficas externas de mayor resolución.

No obstante lo anterior, se pueden presentar elementos con texturas muy homogéneas en los que el empleo de la fotogrametría digital arroja resultados insatisfactorios debido a la imposibilidad de identificación automática de puntos homólogos entre fotografías con recubrimiento, haciendo inviable la modelización geométrica y de textura. En estos casos la luz estructu-

rada no se ve limitada por la textura del objeto, pudiéndose realizar la completa modelización del mismo. En las figuras 8a y 8b se incluyen los registros y la fusión realizados con luz estructurada correspondientes a un elemento abovedado de pequeñas dimensiones (< 20 cm) y textura completamente uniforme. Por el contrario, al emplear las técnicas de la fotogrametría digital para reconstruir el mismo elemento (Fig. 8c) se concluye con que no es posible hacerlo de forma adecuada. En el modelo fotogramétrico incluido en la figura 8d se observan la posición en el espacio de las trece fotografías empleadas y la modelización de la escena, quedando de manifiesto que únicamente ha sido posible digitalizar la superficie sobre la que se apoya el elemento

5. Detalle de columna de entrada en el Hospital Real. Universidad de Granada. (a) Fusión sin cierre de huecos. (b) Fusión con cierre de huecos

6. Detalle arquitectónico en el Hospital Real (muestra 1). (a) Luz estructurada. (b) Fotogrametría digital. (c) Láser escáner

5. Detail of pilasters in Hospital Real, University of Granada; (a) fusion without filling gaps; (b) fusion with filling gaps

6. Architectural detail in the Hospital Real (sample 1); (a) structured light; (b) digital photograph; (c) laser scan

objetivo, no quedando registrado prácticamente nada del mismo.

Dentro de las limitaciones de la luz estructurada se encuentra la sensibilidad de esta técnica a la luz ambiental. Escenarios muy iluminados impiden la calibración del equipo y la toma de datos. Igualmente, es preciso tener en cuenta que en el levantamiento de detalles arquitectónicos serán precisas varias tomas debido al tamaño de los objetos a modelizar, lo que supone un tiempo considerable en el que la variación de luz ambiental afectará también a las medidas, restringiendo su uso en exteriores hasta la caída del sol.

## Conclusiones

La comparación realizada entre las superficies obtenidas mediante luz estructurada, fotogrametría digital y escáner láser conduce a que las tres geometrías son equivalentes cuando el objeto que se esté digitalizando se pretenda representar a una escala 1:10. Sin embargo, es preciso tener en cuenta que la luz estructurada es un escáner de corto alcance, lo que limita el tamaño de los elementos a modelizar, no siendo competitivo con la fotogrametría digital o el escáner láser en el registro de elemen-

tos de grandes dimensiones. Además, la sensibilidad del escáner de luz estructurada a la luz ambiental de la escena, tanto a su exceso como a su variación en el tiempo, puede ser un inconveniente en tomas que deban realizarse en exteriores durante el día o que requieran tanto tiempo que la iluminación varíe considerablemente.

Otra de las limitaciones de los escáneres láser y de luz estructurada está relacionado con el registro de las texturas. Normalmente estos equipos no incorporan cámaras con resolución elevada, por lo que en los casos en los que el registro de la textura del objeto sea importante será más adecuado el empleo de la fotogrametría digital.

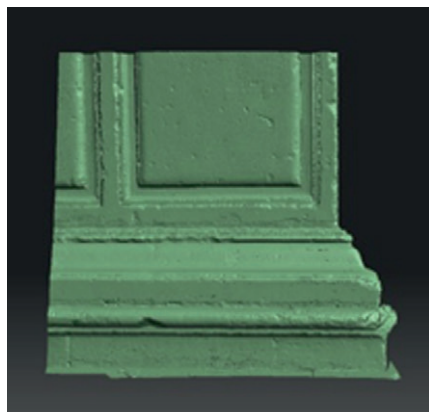
Los escáneres láser y de luz estructurada son capaces de registrar completamente objetos cuya textura sea tan uniforme que se haga inviable el empleo de las técnicas de la fotogrametría digital debido a la imposibilidad de identificación automática de puntos homólogos entre fotografías con recubrimiento. En estos supuestos, la luz estructurada presenta la ventaja frente al escáner láser de tener un coste muy inferior.

A pesar de sus limitaciones, la existencia de equipos de bajo coste de luz estructurada tiene como con-

and the map of textures provided by the external photographic cameras of finer resolution. Despite the above, for elements with very even textures, digital photography proves unsatisfactory due to the impossibility of automatically identifying homologous points between photographs with overlap, making geometric and texture modelling unfeasible. In these cases, structured light is not limited by the texture of the object, and a complete modelling is possible. Figures 8a and 8b present the records and the fusion made with structured light corresponding to a domed element of small dimensions (<20 cm) with a completely uniform texture. On the contrary, the use of digital photography to reconstruct the same element (Fig. 8c) was deemed inadequate. The photographic model in figure 8d shows the position in space of the 13 photographs used and the modelling of the scene, indicating that it was possible to digitalize only the surface on which the element to be modelled rested, without almost anything of the element recorded. The limitations of structured light include the sensitivity of this technique to ambient light. Strongly illuminated scenes impede the calibration of the equipment and the recording of data. Also, it should be taken into account that in the survey of architectural details, several takes are necessary because of the size of the objects to be modelled, which implies a considerable time in which the variation in ambient light can also affect the measurements, restricting its use in exteriors until sundown.

## Conclusion

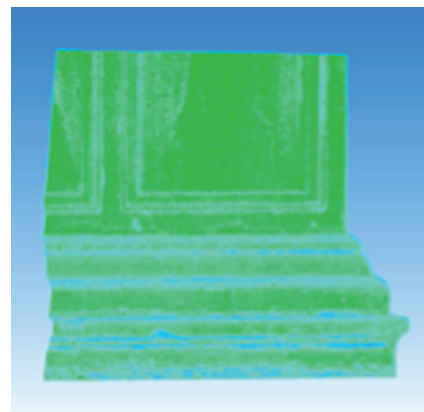
The comparison made between the surfaces captured by structured light, digital photography, and laser scanning indicates that the three geometries are equivalent when the object to



6a



6b



6c





be digitalized is represented at a scale of 1:10. However, it should be taken into account that structured light is a close-range scanner, which limits the size of the elements to be modelled, this not being competitive with digital photography or laser scanning in representing elements of large dimensions. Furthermore, the sensitivity of the structured-light scanner to ambient light of the scene, both for its excess as for its variation over time, can be a drawback in takes that must be made on the exterior during the day or that require so much time that the illumination varies considerably. Another limitation of the laser scanner and of structured light concerns the recording of textures. Normally, these devices do not incorporate high-resolution cameras and therefore, in cases requiring a faithful rendering of texture, digital photography is more adequate. The laser scanner and structured light are capable of completely recording objects that have such uniform texture that it becomes untenable to use digital photography due to the impossibility of automatically identifying the homologous points between overlapped photographs. In these cases, structured light offers the advantage over the laser scanner for having a lower cost. Despite the limitations, low-cost structured-light equipment is a technique to consider in the survey of architectural details. The results at the Hospital Real of the University of Granada proved satisfactory as a substitute or complement to digital photography and the laser scanner. ■

### Notes

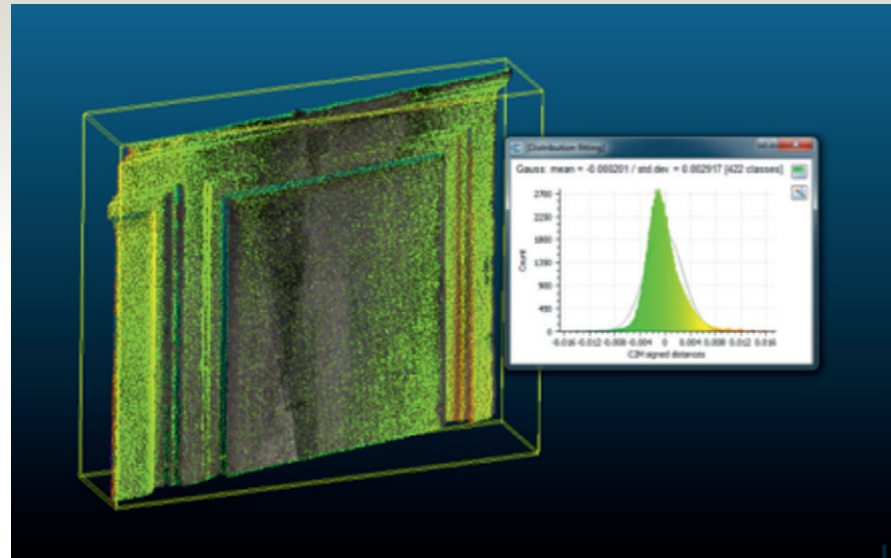
- 1 / Scanner DAVID SLS-2. DAVID Vision Systems GmbH
- 2 / The methodology used was that of the application CloudCompare. GNU General Public License (GPL).

### References

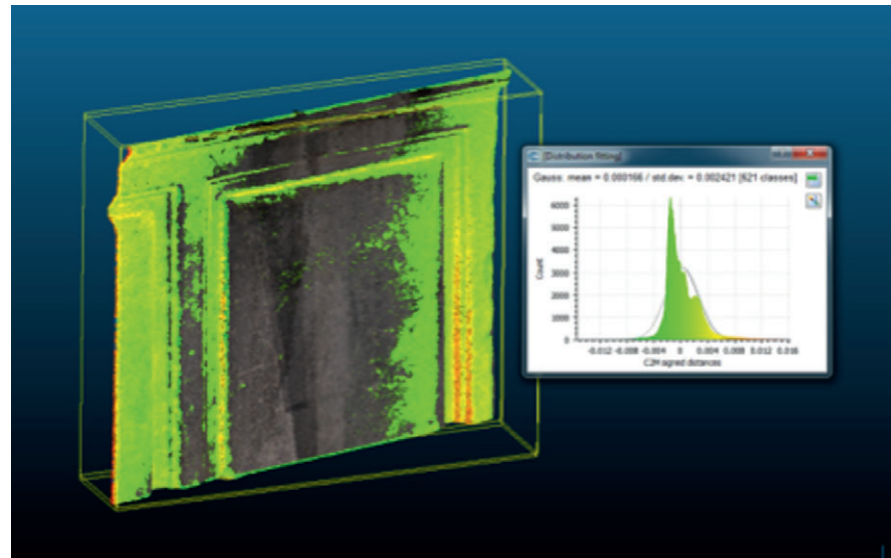
- BERNARDINE, F. & RUSHMEIER, H., 2002. The 3D model acquisition pipeline. *Computer Graphics Forum*, 21 (2), pp.149-172.
- B, BLAKE, B. & BEDFORD, J. 2015. Metric Survey Specifications for Cultural Heritage. English Heritage.
- DAVIS, J., MARCHNER, M., GARR, M. & LEVOY, M., 2002. *Filling holes in complex surfaces using volumetric diffusion*. Proceedings of the Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission. 19-21 June, Pavia, Italy, pp. 428-441.
- Godin, G., BERARDIN, J., TAYLOR, J., COURNOYER, L., RIOUX, M., EL-HAKIM, S., BARIBEAU, R., BLAIS, F., BOULANGER, P., DOMEY, J. & PICARD, M., 2002. Active optical 3D imaging for heritage applications. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 22 (5), pp.24-36.
- GOMES, L., PEREIRA BELLON, O.R. & SILVA, L., 2014. 3D reconstruction for digital preservation of cultural

7. Detalle arquitectónico en el Hospital Real. Comparación de la nube de puntos de la muestra 2. (a) Luz estructurada-fotogrametría (b) Luz estructurada-Láser escáner

7. Architectural detail in the Hospital Real. Comparison of the cloud of points for sample 2; (a) structured-light photography; (b) structured light-laser scanning



7a



7a

secuencia que sea una técnica a tener presente en el levantamiento de detalles arquitectónicos, habiendo sido los resultados obtenidos en el Hospital Real de la Universidad de Granada satisfactorios como sustitutivo o complemento a la fotogrametría digital y el láser escáner. ■

### Notes

- 1 / Escáner DAVID SLS-2. DAVID Vision Systems GmbH

2 / La metodología empleada ha sido la contemplada en la aplicación informática CloudCompare. GNU General Public License (GPL).

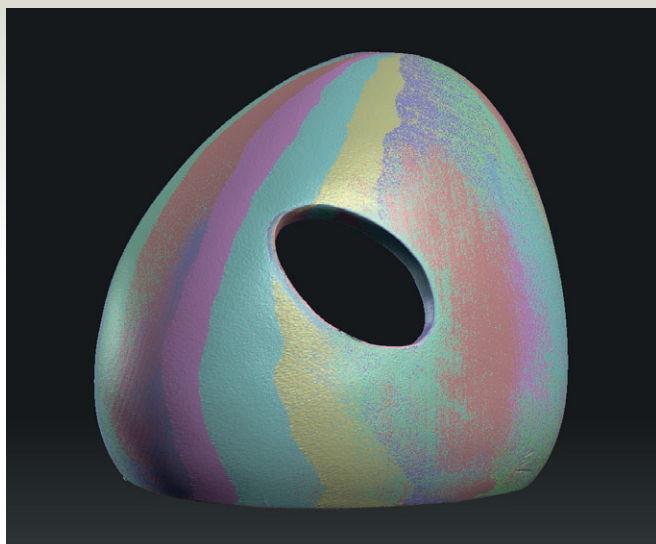
### Referencias

- BERNARDINE, F. y RUSHMEIER, H., 2002. The 3D model acquisition pipeline. *Computer Graphics Forum*, 21 (2), pp.149-172.
- BRYAN, P., BLAKE, B. y BEDFORD, J. 2015. Metric Survey Specifications for Cultural Heritage. English Heritage.
- DAVIS, J., MARCHNER, M., GARR, M. y LEVOY, M., 2002. Filling holes in complex surfaces using volumetric diffusion. Proce-

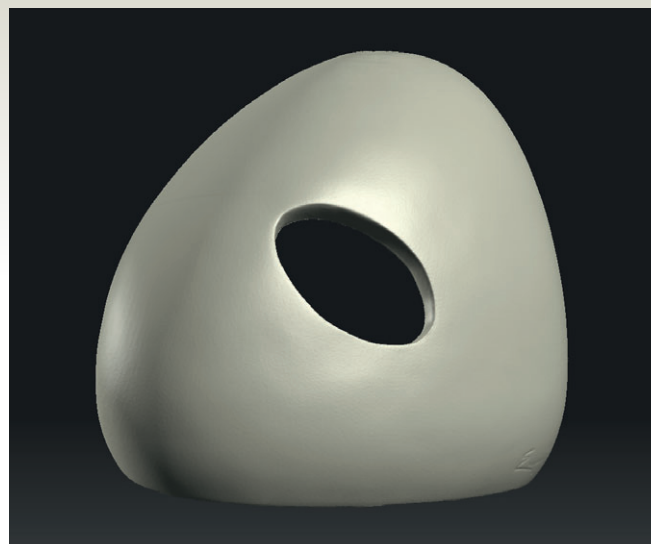


8. Digitalización de un elemento con textura uniforme. (a) Registros de luz estructurada (b) Fusión de registros con luz estructurada. (c). Fotografía empleada en fotogrametría digital. (d). Reconstrucción fotogramétrica

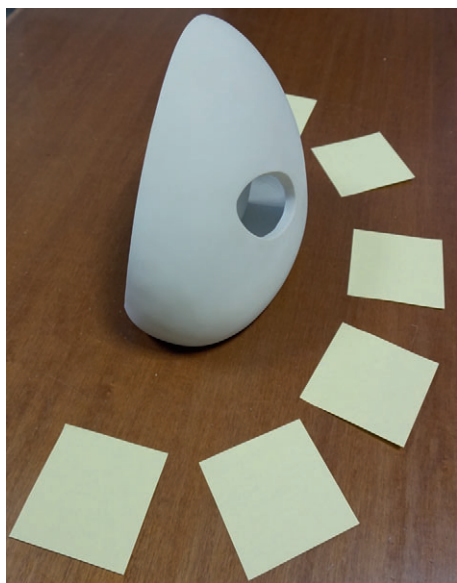
8. Digitalization of an element with a uniform texture; (a) records of structured light; (b) fusion of records of structured light; (c) photography used digitally; (d) photographic reconstruction



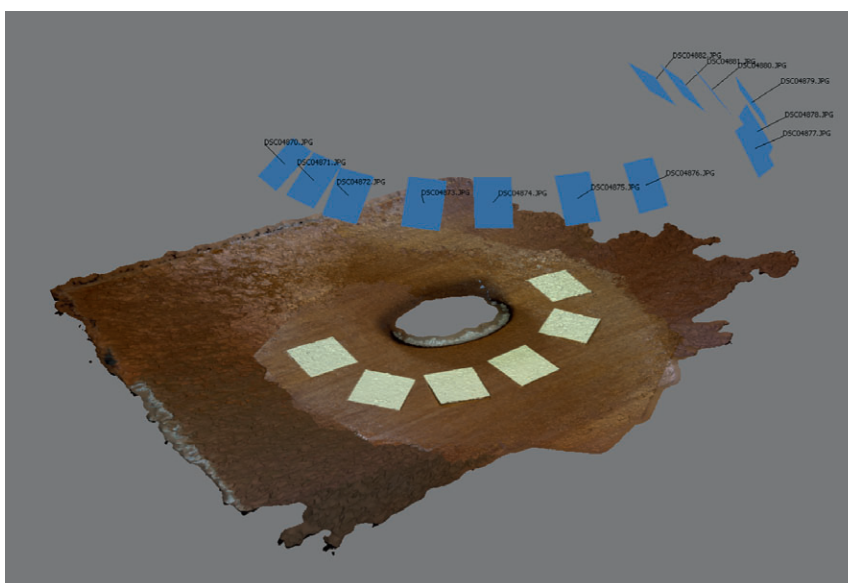
8a



8b



8a



8b

dings of the Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission. 19-21 June, Pavia, Italy, pp. 428-441.

- GODIN, G., BERARDIN, J., TAYLOR, J., COURNOYER, L., RIOUX, M., EL-HAKIM, S., BARIBEAU, R., BLAIS, F., BOULANGER, P., DOMEY, J. y PICARD, M., 2002. Active optical 3D imaging for heritage applications. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 22 (5), pp.24-36.
- GOMES, L., PEREIRA BELLON, O.R. y SILVA, L., 2014. 3D reconstruction for digital preservation of cultural heritage: A survey. *Pattern Recognition Letters*, 50, pp.3-14.
- MATAIX, J., LEÓN, C. y MONTES, F.,

2013. 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). *EGA. Expresión Gráfica Arquitectónica*, 21, pp.216-225.

- PAVLIDIS, G., KOUTSOUDIS, A., ARNAOUTOGLU, F., VASSILIOS, T. y CHAMZAS, C., 2007. Methods for 3D digitalization of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8, pp.93-98.
- REMONDINO, F. y RIZZI, A., 2010. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites-techniques, problems, and examples. *Appl Geomat*, 2, pp.85-100.

heritage: A survey. *Pattern Recognition Letters*, 50, pp.3-14.

- MATAIX, J., LEÓN, C. & MONTES, F., 2013. 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). *EGA. Expresión Gráfica Arquitectónica*, 21, pp.216-225.
- PAVLIDIS, G., KOUTSOUDIS, A., ARNAOUTOGLU, F., VASSILIOS, T. & CHAMZAS, C., 2007. Methods for 3D digitalization of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8, pp.93-98.
- REMONDINO, F. & RIZZI, A., 2010. Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites-techniques, problems, and examples. *Appl Geomat*, 2, pp.85-100.