

DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL. MÉTODO BASADO EN LA FUSIÓN DE TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS Y DE ESCANEADO ÓPTICO DE TRIANGULACIÓN

CULTURAL HERITAGE DOCUMENTATION. METHOD BASED ON THE FUSION OF OPTICAL SCANNING TRIANGULATION AND PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUES

Borja Molero Alonso, Salvatore Barba, Antonio Álvaro Tordesillas

doi: 10.4995/ega.2016.6308

Los continuos avances en los últimos años de equipos de levantamiento tridimensional han aumentado el abanico de posibilidades para el registro, documentación y difusión del patrimonio. Pero, y desde esta hipótesis partimos, aún existen obstáculos para la creación de modelos 3D fotorrealísticos y fidedignos en algunos ámbitos geométricos y radiométricos. Estos aparecen cuando las características de las piezas son adversas para su digitalización, es decir, la geometría del objeto carece de aristas definidas y/o su acabado no permite su registro, bien por su color, uniformidad, reflectancia, etc.

Este estudio plantea y presenta resultados de un modelo fotorrealístico aplicado al levantamiento de una escultura de Jorge Oteiza. Obra caracterizada por una geometría y textura desfavorables a las ideales para su digitalización. La solución planteada pasa por una metodología fundamentada en la combinación de técnicas: modelos capturados mediante escáner óptico de triangulación Artec con el apoyo del software fotogramétrico PhotoScan en la fase de texturización.

PALABRAS CLAVE: ESCANEADO DE LUZ ESTRUCTURADA. FOTOGRAMETRÍA MULTI-IMAGEN. LEVANTAMIENTO ESCULTÓRICO. DOCUMENTACIÓN GRÁFICA 3D. MAPEO DE TEXTURAS

The continuing progress over the last years on three-dimensional surveying equipments –software and hardware– has increased the range of possibilities for the recording, documentation and dissemination of heritage. However, and based on this following hypotheses, there are yet several obstacles in the creation of photorealistic and reliable 3D models among some geometric and radiometric fields. These problems arise when the pieces offer difficulties for scanning such as the lack of defined edges in the geometry of the object in question and/or the impossibility of recording due to the type of finish (color, uniformity, reflectance...)

This study suggests and presents results of a photorealistic model applied to the survey of the work of the sculptor Jorge Oteiza, whose pieces are characterized by geometries and textures against an ideal scanning. The solution contemplated here involves a methodology based on a combination of techniques: models captured by optical triangulation scanner Artec supported by the photogrammetric software PhotoScan in the texturing phase.

KEYWORDS: ARTEC MH AND AGISOFT PHOTOSCAN. COMBINATION OF TECHNIQUES. SCULPTURE SURVEY. 3D DOCUMENTATION. TEXTURE MAPPING



Introducción

En este trabajo de investigación desarrollamos una metodología basada en la fusión de técnicas fotogramétricas y de escáner óptico de triangulación para el levantamiento de obras de arte. Como campo de aplicación usaremos una de las piezas del escultor español Jorge Oteiza custodiada en el Museo-Fundación Jorge Oteiza (Alzuza, Pamplona), dentro del marco de desarrollo del Proyecto de Investigación de la Universidad de Valladolid titulado Ensayos de restitución fotogramétrica de bajo coste mediante fotografía digital; aplicado al levantamiento de obras de Chillida y Oteiza 1.

Con ello, se pretende abrir nuevas vías para el desarrollo de un método propuesto de levantamiento tridimensional del patrimonio cultural. La posibilidad de empleo de estas dos técnicas de digitalización permite obtener resultados óptimos en lo referente a parámetros métricos (a través del empleo de equipos ópticos tridimensionales minuciosamente calibrados) y radiométricos (mediante el uso de cámaras réflex convencionales, muy por encima, en cuanto a calidades ópticas y de resolución, de las cámaras integradas en aquellos equipos ópticos).

La elección de la metodología a emplear, así como las calidades del modelo 3D final, siguen teniendo una fuerte dependencia del objeto de estudio. Parámetros como la geometría característica del objeto, la reflectancia del material y la homogeneidad de las texturas son fundamentales para conseguir un modelo tridimensional fidedigno.

Otro de los objetivos principales de esta investigación es facilitar la difusión de las piezas tridimensionales finales. La correcta difusión precisa de un estudio profundo de las posibilidades de visualización de los formatos,



1

así como el requerimiento de recursos informáticos, permitiendo salvar obstáculos de accesibilidad al patrimonio a investigadores y al gran público.

Analizando el escenario de difusión para dar soporte al público, existen un gran número de *plug-ins* para su instalación en el navegador web que permiten la visualización 3D (como *Cortona*, *OpenWRML*), si bien actualmente la mayoría de navegadores soportan WebGL y es posible la visualización tridimensional desde repositorios 3D (como *Sketchfab*, *p3d.in* o *Smithsonian X3D*) sin la instalación de *plug-ins* adicionales. También parecen obvias las vías de difusión tridimensional del patrimonio que abre el formato de *Adobe Acrobat PDF3D*, por su internacionalización y sencillez de uso, llegando incluso un paso más allá de la pura visualización pues permite realizar secciones o mediciones).

1. Fotografía de la pieza escogida para la aplicación práctica: Sacrificio de Isaac, 1949-50

1. Photo of the workart chosen: The Sacrifice of Isaac, 1949-50

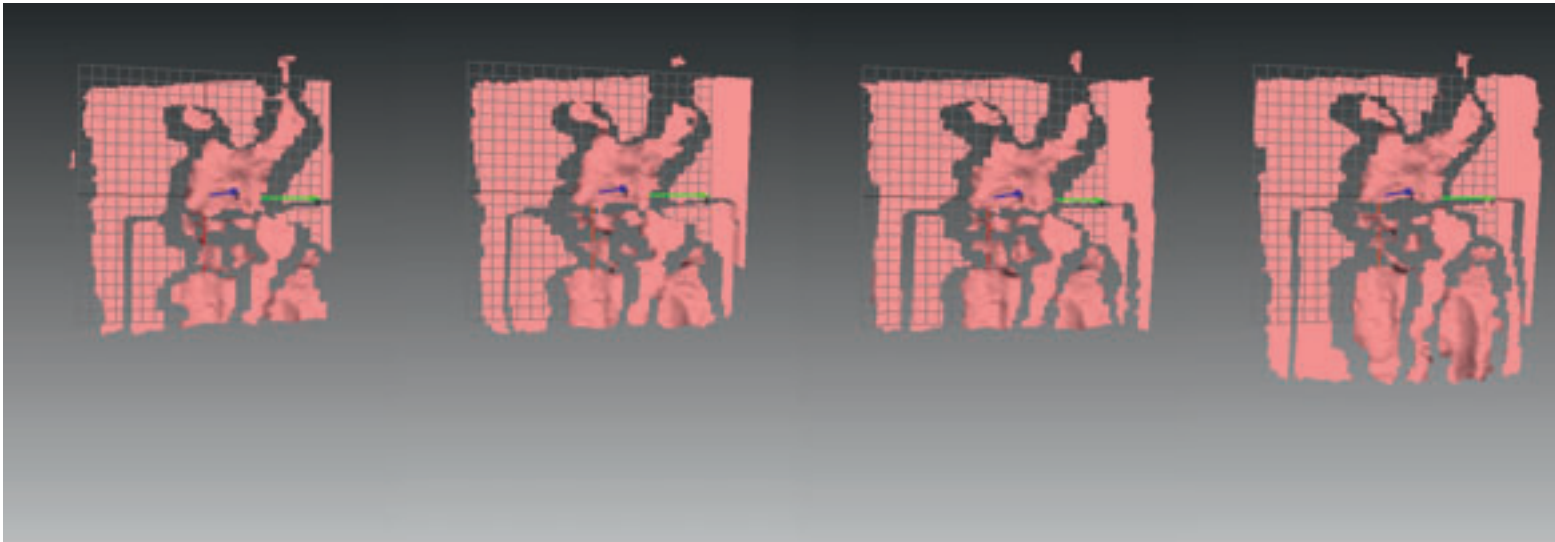
Introduction

In this research, it is developed a methodology based on the blend of scanning triangulation and photogrammetric techniques in order to have workart surveyed. One of the pieces by the Spanish sculptor Jorge Oteiza at Jorge Oteiza Museum Foundation in Alzuza (Navarra, Spain) determines the field of application of this study within the framework of the research project of the University of Valladolid under the title "Testing of low cost photogrammetric restitution with digital photography, applied to the surveying of works by Chillida and Oteiza", whose principal researcher is Professor Carlos Montes Serrano from the University of Valladolid 1.

By doing so, there is an attempt to pave the way for the development of a proposal of a three-dimensional survey method for cultural heritage. The possibility of usage of these two digital technologies (photogrammetry and optical triangulation scanner) allows fine results regarding metric parameters (through the use of thoroughly calibrated three-dimensional optical equipment) and radiometric (using conventional reflex cameras, highly superior in terms of optical, sensor and resolution qualities to the cameras integrated in the previously mentioned optical equipment). The object of study is key to the methodology choice and to the quality of the final 3D model. Intrinsic characteristics of the object such as its geometry, reflectance of the material and the uniformity of textures are essential to achieve an accurate three-dimensional model.

Another major goal of this research is to facilitate the dissemination of the final three-dimensional creations. A proper diffusion implies first a profound study of possible display formats, together with computing resources which would bring easier access to heritage for researchers and the general public.

An analysis of the dissemination sources which give support to the general public reveals the availability of a large number of 3D viewer plug-ins for your web browser (*Cortona*, *OpenWRML*). Although currently, most browsers support WebGL (*Internet Explorer v.11*, *Google Chrome*, *Mozilla Firefox*, *Opera*, *Safari*) and tridimensional visualization is possible from 3D repositories (*Sketchfab*, *P3d.in* or *Smithsonian X3D*) without installing additional plug-ins. Tridimensional dissemination of heritage seems also obvious thanks to the internationalization and ease of



2

use of toolkits from *Adobe Acrobat PDF 3D*, with features which go beyond mere display, permitting sections and measurements.

Materials and Methodology

Previous considerations

The choice of tools to be used in a survey depends on its objectives and the characteristics and surroundings of the surveyed element. In this case, the sculpture by Oteiza is small: it is a museum piece with a maximal diagonal of 0.325m, what provides good accessibility to encircle the object of study. However, its geometry and radiometry complicate the accuracy in the tridimensional survey, hindering also the creation of the photorealistic model (Fig. 1).

Obtaining 3D models with triangulation laser scanning based on structured light

The geometric survey was based upon the use of structured light triangulation with an Artec MH scanner. As far as the scanner is portable and can be held with one's hands, it is perfect to go through a sinuous geometry. The working range set is 60 cm. Such devices provide 3D models by creating nets based on clouds of points with sub-millimetric accuracy, resolution up to 0.5 mm, by means of non-invasive methods with no direct contact and in a short timeframe. The modeling process is carried out through the projection of an illuminated pattern which distorts adapting itself to the geometry of the object under study. Two sensors, located on both sides of the scanner and properly calibrated, collect the already deformed pattern projected over the object. This is repeated up to a maximum of 15 frames per second. All the frames

Materiales y metodología

Consideraciones previas

La elección del instrumental empleado en el levantamiento depende de los objetivos perseguidos y de las características propias del elemento a levantar, así como su entorno. En este proyecto, la escultura sobre la que se desarrolla el trabajo es de pequeño tamaño, con una altura aproximada de 32 cm. Su accesibilidad permite rodearlo cómodamente para realizar el trabajo. Sin embargo, sus características geometrías y radiométricas dificultan el levantamiento tridimensional de precisión y la creación del modelo fotorrealístico (Fig. 1).

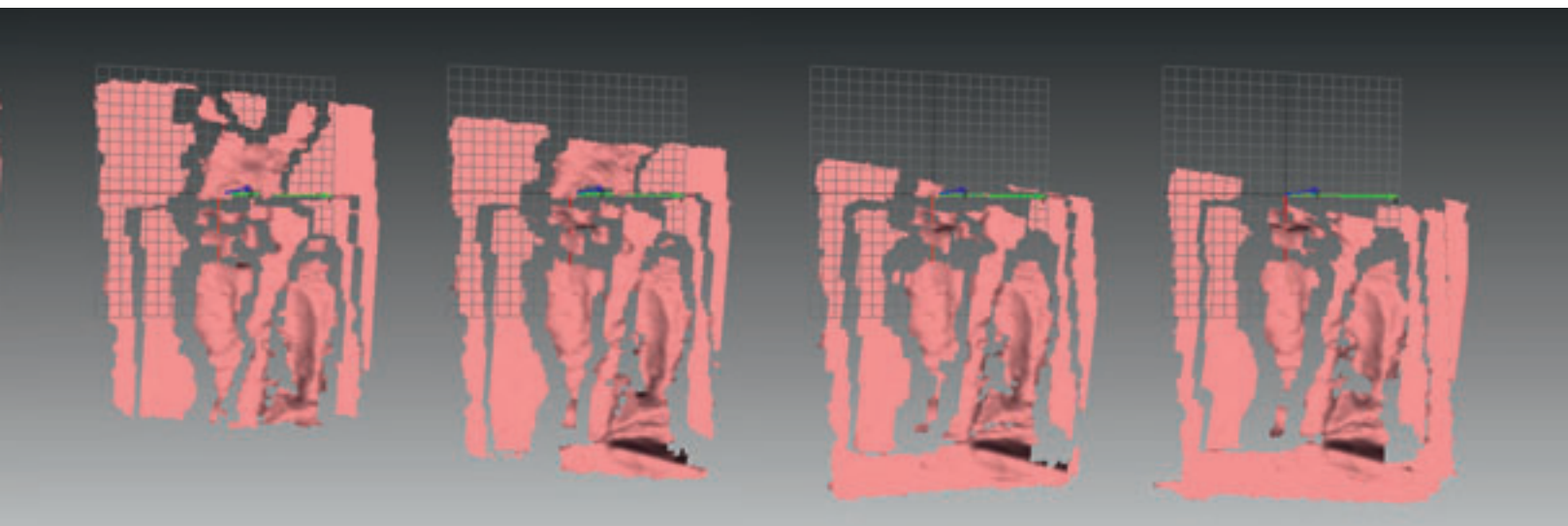
Obtención del modelo 3D mediante escaneado con láser de triangulación basado en luz estructurada

Para el levantamiento geométrico se ha utilizado el escáner de triangulación basado en luz estructurada Artec MH. En la medida en que el escáner se sostiene con las manos y es portátil, resulta perfecto para poder cubrir toda la sinuosa geometría de la pieza objeto de estudio. El rango de trabajo se ha ajustado dentro de 60 cm.

Estos dispositivos permiten la obtención de modelos 3D mediante la

creación de mallas basadas en nubes de puntos de precisiones sub-milimétricas. Según especificaciones, precisiones de hasta 0,1 mm (la precisión del punto respecto a la distancia es de hasta 0,15% sobre los 1000 mm), con resoluciones de hasta 0,5 mm, con un proceso de trabajo no invasivo y sin contacto directo. Para ello el dispositivo proyecta un patrón luminoso (luz estructurada), que se deforma adaptándose a la geometría del objeto de estudio. Dos sensores, ubicados a ambos extremos del escáner y convenientemente calibrados, se encargan de recoger este patrón proyectado (y ya deformado) sobre el objeto. Todos los fotogramas o *frames* de un mismo escaneado son referenciados en el mismo sistema de referencia (el asignado al primer *frame*), basándose en la superficie de solape disponible entre fotogramas contiguos (Fig. 2).

En esta investigación no ha sido posible desarrollar la toma de datos basándonos en grandes escaneos pues la textura que caracteriza esta pieza tiene un alto grado de reflectividad y como resultado obtuvimos mallas con *frames* registrados de forma imprecisa dentro de cada escaneo (Fig. 3). La solución llevada a cabo para este problema ha sido realizar escaneos de muy corta duración, entre 15 y 70 *frames* y gran solape. El dispositivo



2. Secuencia de *frames* registrados por el equipo escáner y sistemas de referencias

3. A la izquierda, escaneo formado por la superposición de *frames*, aparentemente sin errores. A la derecha, mismo escaneo en una vista de perfil, donde se observan errores en el registro

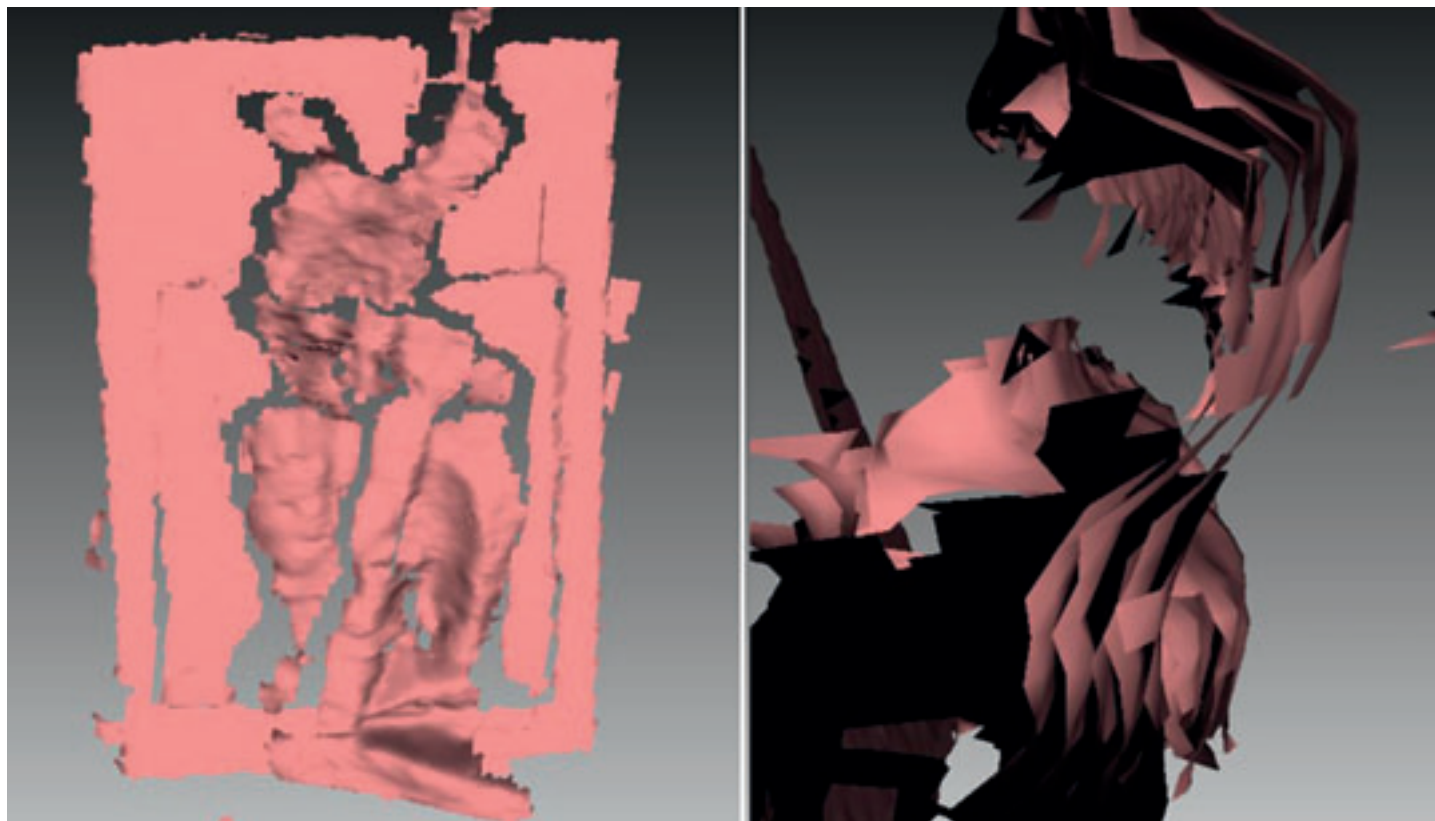
2. Sequence of frames recorded by the scanner and reference system

3. Left, scan result from overlapping frames. Right, same scan but from a section view. Errors in the registration can be observed

fue configurado a 14 *frames* por segundo (este ajuste es fijado a partir de pruebas in situ), lo que significa escaneos de 1 a 5 segundos de duración. Como consecuencia, el trabajo de alineamiento se intensifica y el número de escaneos ha aumentado hasta 37, pero a cambio ganamos precisión y

from the same scanning are placed in a common reference system (the one assigned to the first frame), based on the available overlapping surface between adjacent frames (Fig. 2).

The data collection in this research has not been possible through large scans because the defined texture of the piece is highly reflective and so, the result were 3D nets with imprecisely recorded frames within each scan (Fig. 3).





4. Resultado del alineamiento de los 37 escaneos

5. Proceso de texturización: posición relativa entre la TIN generada con el escáner y las tomas fotográficas en ambiente *PhotoScan*

6. Proceso de trabajo para obtener la posición relativa de la TIN elaborada en el escáner con las tomas fotográficas en ambiente *PhotoScan*

4. Result of the alignment of the 37 scans

5. Process of texturing: relative position between the TIN generated scanner and photographic shots, in *PhotoScan* environment

6. Working process to obtain the relative position of the TIN drawn into the scanner with photographic shots, in *PhotoScan* environment

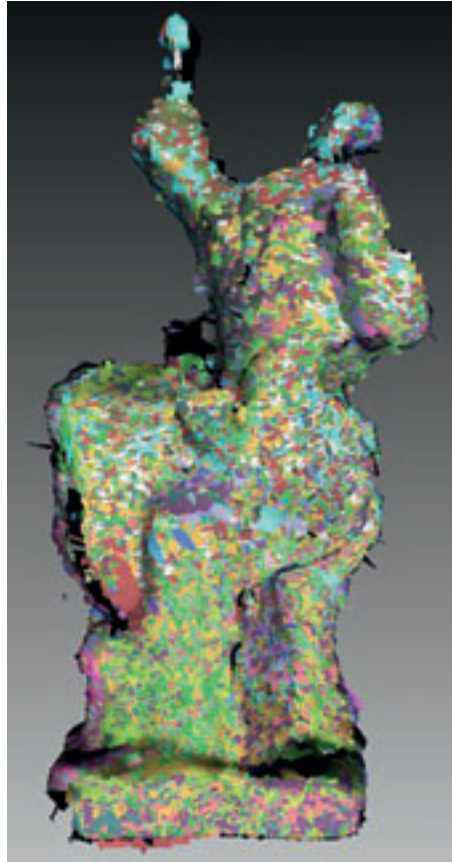
The solution consisted in very short scans, between 15 and 70 frames and large overlap, with the device set to 14 frames per second. This setting is determined by the results of in situ tests. It complicates the alignment process and the number of scans increases to 37 in total; however, the final 3D net improves in precision and rigour. *Artec Studio 8.1* (the latest version is 9.2) is the software used to control the triangulation scanner during the surveying. *Artec Studio* has also been utilized to deal with the captured data, and then registering it, for reduction of noise points, alignment and optimization of the triangulated network known as TIN (*Triangulated Irregular Network*), which is created from the point cloud.

Data processing for 3D geometry construction with Artec Studio 8.1 proprietary software

Once the registration problems were fixed, a single reference system was defined for all the scans which would give birth to the 3D model. This system was based on the identification of at least three homologous points among the first scans, using also the least-squares method in later ones. The scans were taken with an overlap of more than 60% in order to facilitate work and obtain an accurate alignment (Fig. 4). Average deviations below 0.3mm were accepted. It is worth mentioning that some of the models incorporated insignificant cavities compared to the dimensions of the art pieces. There was no cavity with a filling of more than 2%, accomplishing quite a reliable model; without gaps either of information or data interpolation which could lead to a crude copy.

Implementation of the texture mapping process with Agisoft PhotoScan software

The radiometric information from the geometric models has been provided by the photogrammetry software *Agisoft PhotoScan 0.9* (Fig. 5). This



4

rigor en la obtención de la malla 3D final. El *software* empleado para el control del escáner de triangulación durante la fase de levantamiento ha sido *Artec Studio* en su versión 8.1 (la última es 9.2). *Artec Studio* también ha sido empleado para manejar los datos capturados, registrarlos, reducción de puntos de ruido, alineamiento y optimización de la malla triangulada, conocida como TIN (*Triangulated Irregular Network*), derivada de la nube de puntos. Cabe mencionar que aquellas señales de ruido fuera de nuestra área de interés fueron previamente eliminadas.

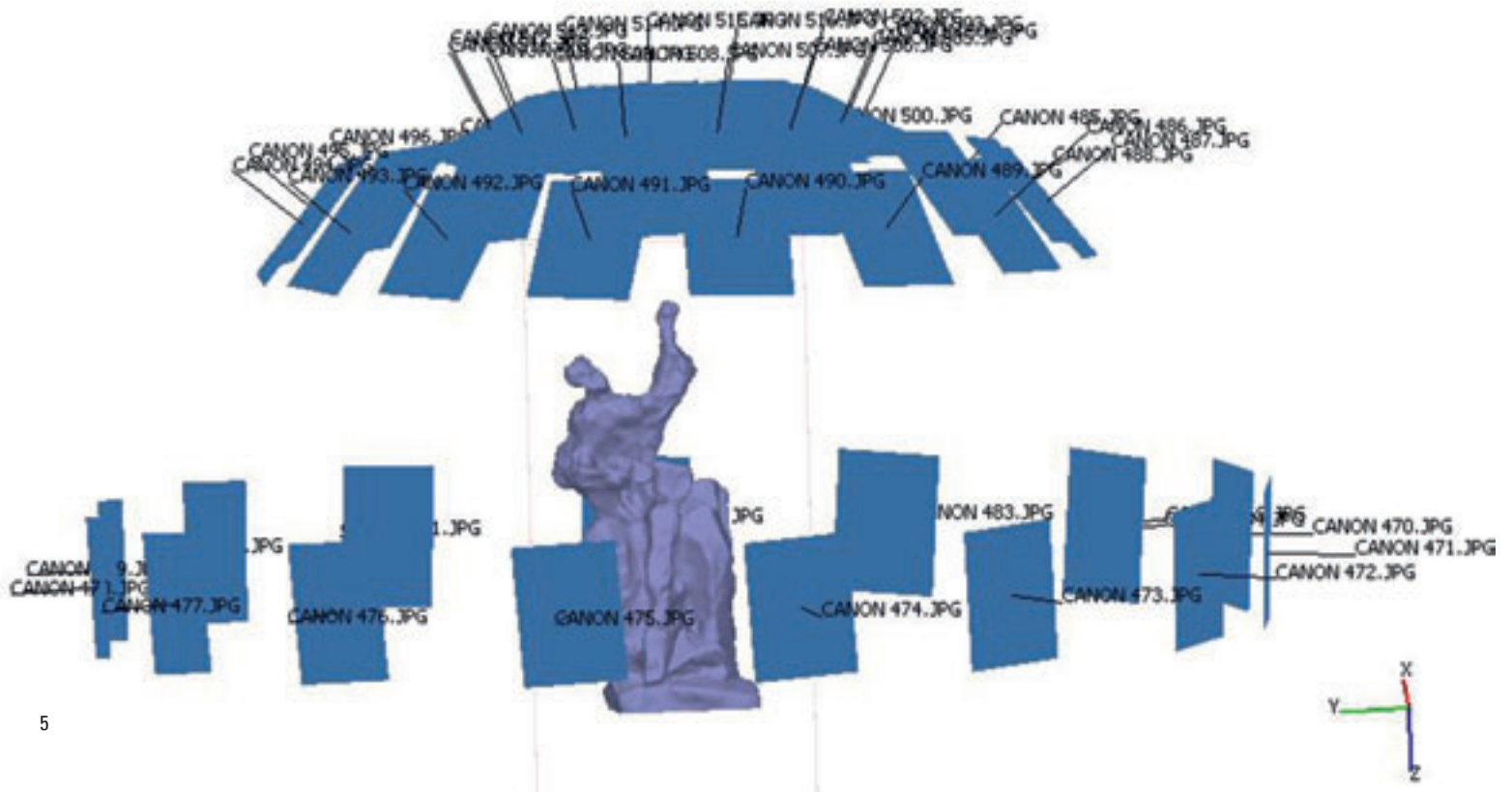
Procesado de los datos mediante el software propietario Artec Studio v8.1 para la construcción de la geometría 3D

Corregidos los problemas de superposición de *frames*, fue establecido un solo sistema de referencia para todos

los escaneos a partir del cual crear el modelo 3D, mediante la identificación de al menos tres puntos homólogos entre escaneos en primera instancia, y de mínimos cuadrados en segunda. Los escaneos se tomaron con solapes superiores al 60% para facilitar el trabajo y conseguir resultados precisos en el alineamiento (Fig. 4). Se aceptaron desviaciones medias inferiores a 0,3 mm en el proceso de registro. Es relevante mencionar que se consiguieron modelos con huecos no significativos en relación con la dimensión de las piezas. En ningún caso se empleó un relleno de hueco superior al 2%, procurando la obtención de un modelo lo más fidedigno posible a la pieza real; sin lagunas de información e interpolación de datos que lleven a la realización de una burda reproducción.

Implementación del proceso de mapeo de texturas con el software Agisoft PhotoScan

La información de textura de los modelos geométricos obtenidos ha sido aportada a los triángulos mediante el *software* fotogramétrico *Agisoft PhotoScan v0.9* (Fig. 5). En este caso porque el escáner óptico por triangulación no dispone de cámara incorporada. Dicho *software* se apoya en rutinas SfM (*Structure from Motion*) que permiten un proceso de trabajo intuitivo y en tiempos reducidos 2. Las tomas fotográficas han sido realizadas con una cámara réflex Canon EOS 1100D y una distancia focal de 24 mm. La resolución empleada ha sido de 3888 x 2592 píxeles. El número de imágenes tomadas ha estado influenciado por la necesidad de cubrir pronunciadas concavidades en la geometría característica del objeto. Con esta cámara réflex convencional

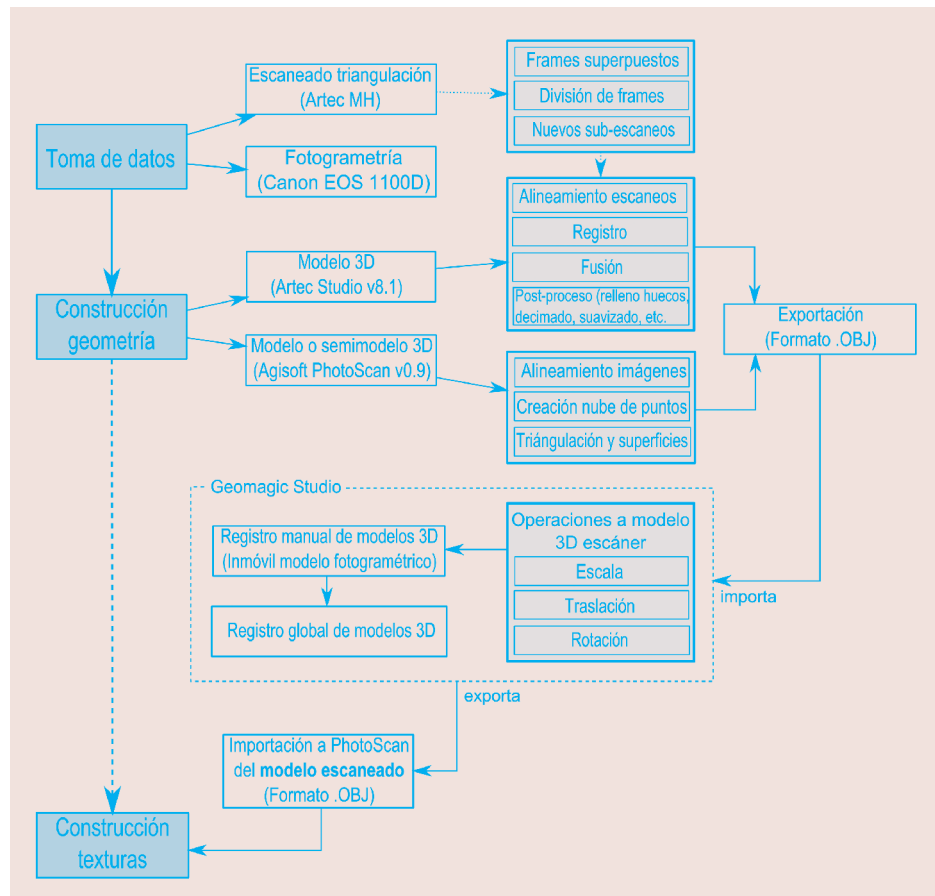


5

podemos conseguir mayor calidad de imagen que con las cámaras incorporadas en los costosos equipos de escáner tridimensional.

El proceso de asignación de la información de color a la TIN generada en *Artec Studio* se realizó sin alterar en ningún caso la geometría de la misma. Para realizar esta asignación colorimétrica ha sido necesaria la importación de la TIN desde el software propietario *Artec Studio* al de *PhotoScan* (Fig. 6).

Para ello se han alineado las cámaras en el software *PhotoScan*, y se ha construido una malla. Ambas geometrías (la proveniente del escáner de triangulación y del software fotogramétrico) han sido importadas al software “puente” *Geomagic Studio* v2013.0.1 en formato OBJ. Seguidamente, ha sido necesaria la detección de coordenadas homólogas en ambos escenarios, que permitieron llevar a cabo los trabajos oportunos de escalado. Con objetivo de ubicar ambas



6

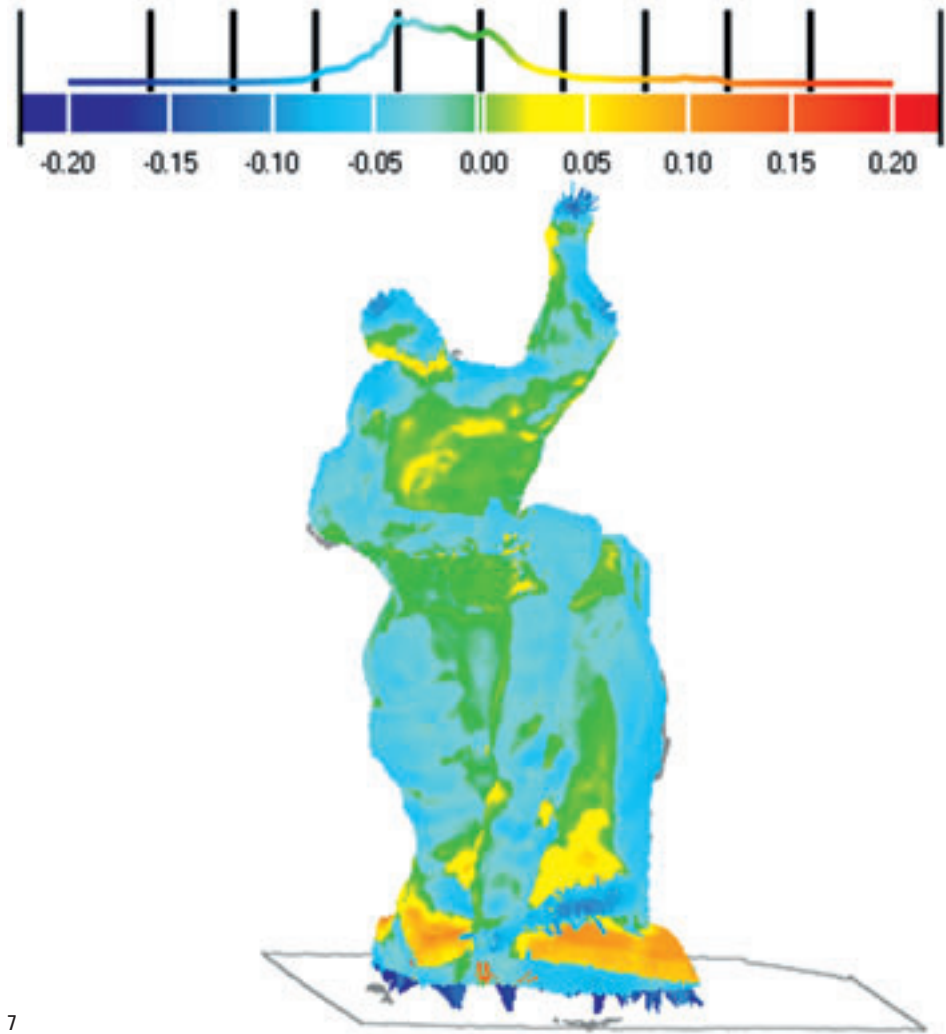


software relies on SfM routines (Structure from Motion) that allow an intuitive working process in reduced times 2. The photographs were taken with a Canon EOS 1100D SLR camera and a focal length of 24mm. The resolution used was of 3888x2592 pixels. This camera offers a better quality of the radiometric data than that from the integrated cameras of the expensive 3D scanner equipments.

The allocation of color to the TIN created with Artec Studio did not involve any alteration of its geometry. This colorimetric assignation required to import the TIN from the *Artec Studio* proprietary software to *PhotoScan* (Fig. 6). The procedure entails the alignment of the cameras in *PhotoScan* software, together with the construction of a low quality mesh. Both geometries (that one from the triangulation scanner and the other from the photogrammetry software) have been imported to the software bridge *Geomagic Studio 2013.0.1* in OBJ format. Subsequently, the detection of homologous coordinates in both scenarios was necessary, allowing the performance of an appropriate scaling. In order to locate both geometries in the same reference system, the alignment was made first with manual register, and later on, globally (Fig. 7). The transformation matrix applied to the TIN resulted from the optical triangulation scanner, which comprises scaling, translation and rotation, was as follows:

```
-0.0072-0.00490.01111.7544-0.00090.0121
0-0.0126-0.00380-0.00620.00610706.55465
071.73151
```

The photogrammetric network served as reference in this alignment, while the one from the scan acted as a floating network. This latter one was placed in the photogrammetric reference system and then imported to the *PhotoScan* software. The importing command removes the photogrammetric network automatically, replacing it with the imported mesh. This sequence of work breeds the precise relative position of the TIN generated with the triangulation scanner and the cameras from which the textures are projected. Then it is necessary a rescaling of the mesh in *PhotoScan* environment using control measures. Finally, the photogrammetry software permits checking different mapping modes, allowing the selection of the most suitable option considering the geometrical features of both the TIN model



7

geometrías en el mismo sistema de referencia se ha procedido a realizar la alineación mediante registro manual primero, y global después (Fig. 7). El valor de la distancia media es de 8,7 mm, y una desviación estándar de 8,1 mm. En nuestro caso, la matriz de transformación aplicada sobre la TIN elaborada con el escáner óptico de triangulación, que resume el escalado, la traslación y la rotación, ha sido la siguiente:

```
-0.0072-0.00490.01111.7544-0.0
0090.01210-0.0126-0.00380-0.0
0620.00610706.55465071.73151
```

La malla que hace las funciones de referencia en este alineamiento siempre ha sido la fotogramétrica, mientras que la proveniente del escáner ha actuado como ‘flotante’. Estando

ubicada esta última en el sistema de referencia fotogramétrico se procedió a su importación al *software Agisoft PhotoScan*. Esta orden de importación hace que la malla fotogramétrica sea eliminada automáticamente sustituyéndola por la malla importada. Dicha secuencia de trabajo da como resultado la correcta posición relativa de la TIN generada con el escáner de triangulación con las cámaras desde las cuales proyectamos las texturas. Es necesario un re-escalado de la malla en ambiente *PhotoScan* con ayuda de medidas de control.

Por último, el *software* fotogramétrico nos permite probar diferentes modos de mapeado, permitiendo seleccionar el más idóneo para cada proyecto teniendo en cuenta las características de la geometría del modelo



7. Desviaciones (en tonos fríos para los negativos y cálidos para las positivas) del modelo fotogramétrico respecto al modelo tridimensional proveniente del escáner óptico. Resultado de la matriz de alineación

7. Deviations (in cold to warm tones negative for positive) regarding the photogrammetric model from three-dimensional model of the optical scanner. Result of the alignment matrix

TIN y de las imágenes *input* disponibles. En este caso hemos optado por el mapeado denominado ‘genérico’ (el software no realiza ninguna hipótesis de partida de la geometría a mapear, algo idóneo debido a la geometría irregular de nuestra pieza).

Finalizada la fase de texturizado podemos exportar el modelo 3D final a formatos *Open Source* (como PDF3D o WRML) facilitando las vías de difusión. Puede visualizarse en la web: www5.uva.es/levantamientodigitalallowcost/?p=232

Discusión y resultados

El principal resultado del proceso descrito es el levantamiento de la pieza escultórica “El Sacrificio de Isaac”, de Jorge Oteiza, en calidad fotorrealística (Fig. 8).

También ha sido resuelta la elección del equipo de levantamiento y software de gestión para este tipo de piezas, de pequeñas dimensiones, accesibles en su entorno, de geometría irregular y altos grados de reflectancia en su acabado.

Analizando las posibilidades que, a priori, podrían reemplazar la fusión de técnicas en el proceso de mapeado planteada en nuestro estudio podemos nombrar: empleo de equipos de levantamiento con cámara incorporada, empleo de software fotogramétrico en todo el proceso y empleo de fusión de técnicas en el proceso de mapeado con el uso de otro software (distinto de PhotoScan).

En el primer caso, el empleo de equipos con cámara incorporada desemboca en un detrimento de las calidades fotorrealistas del modelo 3D derivado de las bajas calidades de dichas cámaras. Por otro lado, el empleo de fotogrametría para la captura

de información y la generación de la geometría 3D mediante el software PhotoScan implica una disminución del control en todo el proceso. Esta falta de control, ligada a las características geométricas y de textura descritas de nuestra pieza, deriva en imprecisiones geométricas que difícilmente pueden ser corregidas.

Por último, un software sustituto debería ofrecer más y mejores modos de mapeado de texturas, pues PhotoScan posibilita una gestión eficiente de este proceso con distintos modos (genérico, ortofoto adaptativa, ortofoto, desde una sola imagen y esférico).

Conclusiones

Las principales conclusiones derivadas de esta investigación se enmarcan dentro de los procesos de trabajo y metodología empleados para el levantamiento de piezas escultóricas de características geométricas y radiométricas adversas para su digitalización tridimensional.

La fase de toma de datos y la corrección del error producido por la superposición de *frames* se muestran como fases claves en todo el estudio, puesto que permiten la obtención de una TIN fidedigna sobre la que validar estudios científicos de la escultura.

El proceso de mapeo de texturas implementado con el software PhotoScan se ha mostrado idóneo debido a la disminución de trabajos manuales y la calidad visual de los resultados conseguidos. Sin embargo, el proceso de trabajo del método propuesto precisa de una evolución y, en particular, un ensayo sistemático de todas sus variables para determinar las apropiadas a cada tipo de objeto a levantar, en base a su tamaño, geometría, distancia, material y textura. Esta sería una línea de

and the images available. Generic mapping was the chosen option since it does not imply an initial hypothesis of the geometry to map, which makes it convenient due to the irregularity of the piece under study.

After the texturing stage, the final 3D model can be exported to *Open Source* formats (such as PDF3D or WRML), favoring the dissemination. It can be viewed on this website: www5.uva.es/levantamientodigitalallowcost/?p=232

Discussion and results

The major result of the process described is the digital survey in photorealistic quality of the sculpture by Jorge Oteiza called “The Sacrifice of Isaac” (Fig. 8).

Moreover, it has been determined the selection of the surveying equipment and management software for this type of pieces of small dimensions, accessible all around their contour, of irregular geometry and high finish reflectance values. After analyzing the possibilities which a priori could replace the merge of techniques proposed in this study for the mapping process, we can name the following three: the use of surveying equipment with built-in camera, photogrammetric software throughout the whole process and fusion of techniques in mapping process using software different from *PhotoScan*.

In the first case, the use of equipment with built-in camera leads to the loss of photorealistic quality of the 3D model caused by the low quality of the cameras in these devices. On the other hand, the use of photogrammetry for the data capture and the generation of the 3D geometry with *PhotoScan* software results in a decrease in the controlling levels throughout the process. This lack of control, together with the geometrical and textural features of our piece, leads to geometric inaccuracies that can hardly be corrected.

Finally, alternative software should offer more and better ways of texture mapping, since *PhotoScan* enables efficient management of this process with different modes, namely, generic, adaptive orthophoto, orthophoto, from a single image and spherical mapping.

Conclusions

The main conclusions arising from this research belong to the processes and methodology used in the surveying of sculptures of adverse geometric

8. Modelo 3D fotorrealístico resultante

8. Resulting photorealistic 3D Model

244



and radiometric features for a 3D scan. The data collection phase and the correction of the error in the registration of frames are shown as key stages throughout the study, as they produce a reliable TIN to handle for the validation of scientific studies on the sculpture. The process of texture mapping implemented with *PhotoScan* software seems to be appropriate due to the visual quality of the results achieved and the reduction of manual work. However, the working process of the proposed method requires an evolution and, in particular, a systematic test of all the variables in order to determine the appropriate ones to each type of object to be surveyed, based on the size, geometry, distance, material and texture. This would be a future line of research deriving from this study. After the implicit analysis of the possibility of use of other techniques or methodologies, it can be confirmed that the proposed solution is shown valid. Although the proposal requires an additional process of import /export of the TIN into a third software, in turn, it eliminates arduous manual mapping tasks, revealing itself efficient and fast when compared to those. ■

Notes

1 / Research funded by the Ministry of Economy y Competitiveness of Spain (Ref. HAR2011-25413).

2 / Mainly because of the non camera calibration or manual detection of homologous points between images.

References

- ÁLVARO TORDESILLAS, A., 2011, “Low-cost photogrammetric new tecnic by digital photography; applied to the S.A.V.E. of works by Chillida and Oteiza”, *IX International Forum of Studies S.A.V.E. Heritage*, Capri.
- BARBA, S., FIORILLO, F., CODER, P.O., D’AURIA, S., DE FEO, E., 2011, “An application for cultural heritage in erasmus placement. Surveys and 3D cataloguing archaeological finds in Mérida (Spain)”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XXXVIII, no. March, pp. 1–6.
- REMONDINO, F., EL-HAKIM, S., 2006, “Image-based 3D modelling: a review”, *Photogramm. Rec.*, vol. 21, no. 115, pp. 269–291.

Acknowledgements

We are sincerely grateful to the Jorge Oteiza Museum Foundation for their help. We would also like to thank professors José Antonio Barrera Vera, University of Seville, and Vito Cardone, University of Salerno (Italy) for their support.

investigación futura derivada del presente estudio. Podemos afirmar que la solución planteada se muestra como válida tras el análisis implícito de las posibilidades del empleo de otras técnicas o metodologías. Aunque la propuesta requiere de un proceso adicional de importación/exportación de la TIN en un tercer software, a cambio, elimina arduas tareas de mapeado manual, mostrándose eficiente y rápido en comparación con éstas. ■

Notas

1 / Proyecto financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España.

2 / Principalmente al no ser necesaria una calibración de la cámara o una detección manual de puntos homólogos entre imágenes.

Referencias

- ÁLVARO TORDESILLAS, A., 2011, “Low-cost photogrammetric new tecnic by digital photography; applied to the S.A.V.E. of works by Chillida and Oteiza”, *IX International Forum of Studies S.A.V.E. Heritage*, Capri.
- REMONDINO, F., EL-HAKIM, S., 2006, “Image-based 3D modelling: a review”, *Photogramm. Rec.*, vol. 21, no. 115, pp. 269–291.
- BARBA, S., FIORILLO, F., CODER, P.O., AURIA, S.D., DE FEO, E., 2011, “An application for cultural heritage in erasmus placement. Surveys and 3D cataloguing archaeological finds in Mérida (Spain)”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XXXVIII, no. March, pp. 2-4.
- “Fundación Museo Jorge Oteiza. Alzuza, Navarra.” [Online]. Available: <http://www.museooteiza.org/>. (01.10.2014).

Agradecimientos

Queremos agradecer el apoyo recibido por el Museo-Fundación Jorge Oteiza que nos ha facilitado el acceso y manipulación de la escultura digitalizada. Todo ello dentro del Proyecto de Investigación de la Universidad de Valladolid titulado *Ensayos de restitución fotogramétrica de bajo coste mediante fotografía digital; aplicado al levantamiento de obras de Chillida y Oteiza* (Ref. HAR2011-25413). Proyecto financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España, cuyo investigador principal es el profesor Carlos Montes Serrano, de la Universidad de Valladolid. Queremos también agradecer su ayuda al profesor José Antonio Barrera Vera, de la Universidad de Sevilla, y al profesor Vito Cardone, de la Universidad de Salerno (Italia).



