

Uso de escáner láser 3D para el registro del estado previo a la intervención de la *Fuente de los Leones* de *La Alhambra*

Pedro Cano ¹, Francisco Lamolda ², Juan Carlos Torres ¹ y M^a del Mar Villafranca ²

¹ Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad Granada.

² Patronato de la Alhambra y Generalife. Granada.

Resumen

En el proceso de restauración y conservación del patrimonio histórico se hace necesaria la utilización de todas las técnicas disponibles que puedan aportar un adecuado conocimiento del proceso que se realice. En este artículo presentamos los trabajos realizados mediante el uso de escáner láser 3D para el registrado y documentación del estado de la Fuente de los Leones de La Alhambra, previos a las intervenciones de restauración que se están realizando. En primer lugar presentamos las técnicas clásicas usadas para el registro gráfico de las actuaciones, describiendo cómo se ha hecho hasta ahora, para después mostrar el nuevo proceso implantado con la utilización del escáner láser, y ver los resultados obtenidos. Para finalizar, describiremos algunas de las aplicaciones en las que se pretende utilizar el registrado obtenido.

Palabras Clave: DIGITALIZACIÓN 3D, ESCÁNER LÁSER, RESTAURACIÓN, DOCUMENTACIÓN

Abstract

In the process of restoration and conservation of cultural heritage it's necessary to use all available techniques that can contribute to a suitable knowledge of the process. In this paper we present the use of the 3D laser scanner for documenting the state of the Fuente de los Leones of the Alhambra, previous to the interventions of restoration that are being carried out at the moment. First, we present the classic techniques used for the graphical registry of the activities, describing how they have been used until now. Then, we describe the new process implanted with the use of the laser scanner, and show some results obtained. Finally, we describe some of the applications for which we plan to use the obtained models.

Key words: 3D DIGITALIZATION, SCANNER LASER, RESTORATION, DOCUMENTATION

1. Introducción

En el proceso de restauración o conservación de los bienes del patrimonio cultural se plantea la necesidad de contar con un registro gráfico mediante las diferentes técnicas disponibles (dibujos, planos, fotografías, etc.) de la pieza o elemento sobre la que se proyecta la actuación.

Acometer con garantías la intervención obliga a disponer de una documentación que lo represente obtenida con un proceso científico o con la máxima precisión, en el estado previo y en algunos casos en las distintas fases del proceso de intervención.

En cada momento histórico se emplean para el registro gráfico los procedimientos que la ciencia ha desarrollado y que pueden provenir de otros ámbitos técnicos, científicos o industriales. Las diferentes técnicas que se pueden aplicar no se deben considerar excluyentes, ni prevalecer unas sobre otras. Así las más actuales no reemplazan a otras ya conocidas sino que resultan complementarias y pueden aportar nuevos niveles de informaciones que serán de aplicación en el conocimiento del patrimonio en proceso de conservación.

De este modo, en la intervención en el conjunto de la *Fuente de los Leones* se ha planteado metodológicamente la aplicación de todas aquellas técnicas disponibles para su documentación

gráfica, con el empleo de una multiplicidad de procedimientos que se complementan y que permitan obtener un registro, lo más completo posible, de todas las actuaciones realizadas.

2. La Fuente de los Leones

La *Fuente* ocupa el eje central de la composición de todo el *Palacio de los Leones* en *La Alhambra* y, siguiendo la tipología de patio de crucero, confluyen en ella los cuatro canales o ríos que parten de las estancias que se distribuyen en los lados del patio (figura 1). Su construcción se realiza en el segundo periodo del reinado de Muhammad V, entre los años 1362 a 1391.

La Fuente esta formada por doce esculturas de mármol blanco de Macael, que representan a leones surtidores, y una taza dodecágona, con decoración epigráfica que recoge unos versos de Ibn Zamrak, que descansa sobre un cilindro central. Se remataba el conjunto con un surtidor que permitía la circulación del agua de una forma ingeniosa, creando una armoniosa sensación en quien la contemplaba.

Se conocen actuaciones de reformas y conservación en la fuente desde el siglo XVI, según consta documentalmente en el Archivo histórico de la Alhambra. El carácter funcional de la fuente hace que sea necesaria una continua actividad de limpieza,

reparación y reposición de los elementos deteriorados. De las mismas se conocen referencias históricas que nos hablan de reparaciones y reposiciones de orejas, así como de las canalizaciones.



Figura 1. La fuente de los leones

La documentación que nos ha llegado de todas estas intervenciones a lo largo de la historia ha sido diversa [VALLE 2006], tanto en documentos textuales como gráficos (figura 2). Con la aparición y desarrollo de la técnica de la fotografía se comienza a contar con una numerosa documentación fotográfica. Estas imágenes se han convertido actualmente en una fuente importante de información que permite conocer aspectos de la fuente y de los diferentes procesos y cambios que ha sufrido en el tiempo.



Figura 2. Documentación con dibujos

El proceso de restauración del león nº 4 permitió evaluar y poner a punto el proyecto sobre todo el conjunto de la Fuente de los Leones [PAG 2004]. Se realizaron diferentes registros gráficos, incluyéndose un levantamiento fotogramétrico [ALMAGRO 1996] que sirvió para transferir a los planos el mapeo de las diferentes alteraciones y actuaciones que se llevaron a cabo.

Se comenzó la intervención en el conjunto de la Fuente [TIENZA 2007] con unas actuaciones previas al desmontaje de los 11 leones. En ese momento, y con estos aún instalados en la fuente, se documentó fotográfica y fotogramétricamente el conjunto de leones y taza (figura 3).

En cuanto al proceso de documentación gráfica [GONZALEZ 2006] se completa con la realización de una serie fotográfica de los leones anterior a su traslado. Una vez en el taller y antes de

comenzar los primeros trabajos de limpieza se vuelve a realizar otra serie de fotografías, repitiéndose en fases posteriores. Por otra parte la documentación de las alteraciones y actuaciones que se planifican se vuelcan sobre levantamientos fotogramétricos.

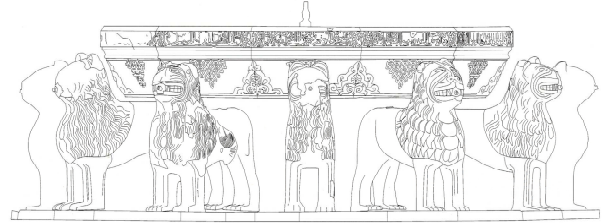


Figura 3. Estudio fotogramétrico

3. Registro con escáner láser

En el conjunto del proceso de restauración, la utilización del escáner láser 3D se planifica con la idea de la aplicación de un nuevo sistema de representación de la geometría de la fuente y leones complementaria y plenamente compatible con el resto de registros gráficos realizados.

Con la realización de este registro gráfico se dispone de la información geométrica tridimensional y de alteraciones en un mismo modelo. Podemos capturar con el escáner la geometría, las diferentes fisuras, grietas, grapas, costra, etc. que, representados posteriormente en los modelos 3D, permitirán la realización de análisis o mediciones sin la necesidad de manipulación directa de las esculturas.

La reconstrucción se ha realizado utilizando un escáner láser Minolta Vivid 910 (figura 4). Este tipo de escáner utiliza un láser de baja intensidad que garantiza la integridad de las piezas que se escanean [MINOLTA 2007]. Su resolución está por debajo de 1 mm.

Los modelos escaneados han sido procesados para generar mallas de triángulos que puedan ser utilizables cualquier aplicación de modelado 3D por ordenador. Esos modelos creados se podrán usar, además de como referencia del estado original de las esculturas y la fuente, para documentar el proceso de restauración y como base para realizar estudios posteriores, tanto de la restauración como del proceso de deterioro sufrido por los leones hasta la actualidad.



Figura 4. Escáner Minolta Vivid 910

3.1. Descripción del proceso realizado

El proceso informático que se ha utilizado [TORRES 2007] se detalla en la figura 5, en la que se muestra el flujo de información del proceso final a llevar a cabo, con los módulos mas relevantes.

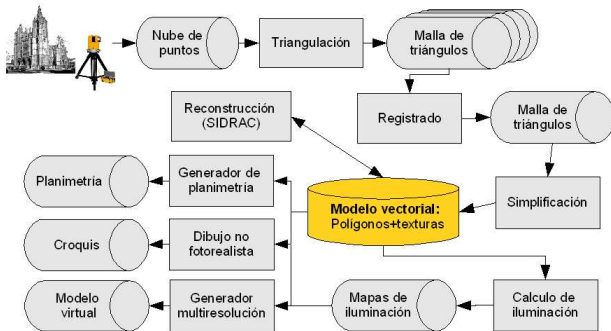


Figura 5. Proceso utilizado en la creación de modelos 3D a partir de escáner láser.

Para cada una de las fases implicadas en el proceso se ha utilizado software comercial y en algunos casos, software desarrollado por miembros del grupo de investigación [ESPAÑA 2008]. El sistema se articula en torno a un modelo vectorial que contendrá la información geométrica del modelo capturado.

El procesamiento de las mallas implica la conversión de todas las tomas a un mismo sistema de coordenadas (registrado), la triangulación de la nube puntos resultante y la simplificación de la malla. Para que el resultado sea preciso es necesario que exista un solapamiento parcial entre tomas (para realizar el registrado de las tomas), y que no queden zonas de la superficie sin escanear.

3.2. Captura de los modelos 3D

Inicialmente se procedió a escanear la taza y su base en el patio. Como resultado de esta toma inicial se obtuvo un modelo simplificado de las huellas que habían dejado los leones en su ubicación original, que servirá como referencia en la distribución del modelo completo.

Posteriormente, se realizó la fase de escaneado de los leones, en la que se obtiene la información necesaria para la realización posterior de los modelos tridimensionales. Se planificó su ejecución para su realización con anterioridad a que comenzaran las primeras labores de limpieza que realiza el equipo de restauradores.

3.2.1. Diseño del Plan de Escaneado

Para realizar un recubrimiento completo de la superficie de cada león se realiza la planificación de tomas que puede observarse en la figura 6. Cada una de las líneas indica la altura a la que se colocó el escáner y sobre la que se realizó un recorrido circular sobre el modelo realizando entre 4 y 10 tomas por nivel.

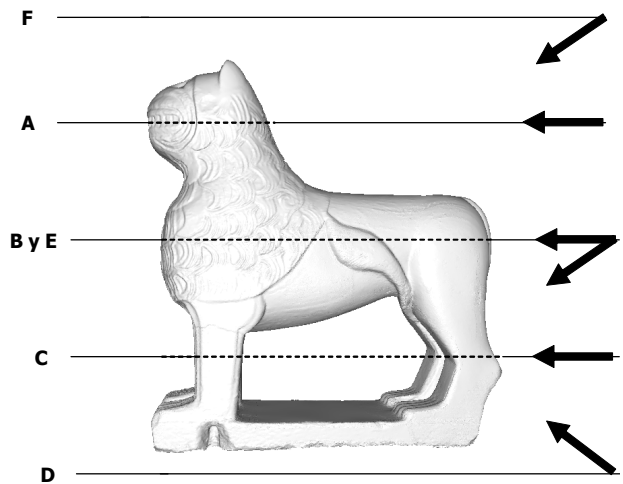


Figura 6. Planificación previa de tomas necesarias para cada modelo.

3.2.2. Proceso de Escaneado

La toma de datos con el escáner (figura 7) se realizó en 6 días. Las tomas de la fuente se realizaron por la tarde, para evitar la luz diurna que daba problemas en el mecanismo de captura del láser. Posteriormente fue necesario volver a digitalizar partes concretas para completar el registro de todas las zonas visibles de los modelos.



Figura 7. Utilización del escáner sobre los leones.

3.2.3. Registrado de las tomas

El procesamiento de los datos implica el registrado de las tomas. Durante el proceso de digitalización se realiza un registrado preliminar con el objetivo de servir de guía en el proceso, minimizando la aparición de zonas no procesadas del modelo. Este proceso implica calcular la transformación existente entre distintas tomas del escáner minimizando el error en las partes solapadas.

3.2.4. Procesamiento de las nubes de puntos y reconstrucción del modelo 3D

Una vez registrado el modelo completo es necesario fusionar las mallas, generando una única malla de triángulos. Esta malla tendrá pequeños agujeros así como imperfecciones, que se producen por la existencia de zonas que no son visibles desde el escáner y por el error de medida del dispositivo. Ambos problemas se resuelven postprocesando la malla generada.

3.2.5. Simplificación y exportación a PLY

Dependiendo del uso que se haga de los modelos será necesario un mayor nivel de resolución. Por otra parte, a mayor nivel de resolución mayor tamaño del modelo y mayor dificultad para trabajar con él. Por este motivo, se han generado modelos con diferente nivel de detalle (figura 8). Estos modelos se obtienen simplificando el original [SCHROEDER 92, HOPPE 93].



Figura 8. Modelo de león con distintas resoluciones

Para almacenar los modelos finales se ha usado el formato PLY que es un estándar público de representación de modelos 3D que se puede tratar con la mayor parte de las aplicaciones comerciales.

4. Resultados

Realizado el proceso descrito en el punto anterior sobre cada una de los leones, del surtidor y la zona exterior con grabados de la fuente, se han obtenido los modelos de cada uno de los elementos. En las figuras 9 y 10 se muestran algunos de los modelos obtenidos, a máxima resolución.

5. Conclusiones

El registro gráfico con el escáner 3D facilita la obtención de una representación de zonas de difícil acceso de los leones con todo el conjunto de alteraciones asociadas. Permite la representación gráfica del conjunto de alteraciones o de actuaciones que se planifican en el proceso de restauración en una única representación tridimensional del león, lo que facilita una mejor comprensión de las esculturas al apreciar la geometría, el relieve y la información que se puede asociar a esta conjuntamente.



Figura 9. Taza y surtidor original de la fuente





Figura 10. Modelos de los leones: superior, león 4 ya restaurado; izquierda, león 9; derecha, detalle de la cabeza del león 12 con restos originales de orejas.

Además, sobre los modelos se pueden realizar simulaciones que permitan obtener, por ejemplo, la diferencia de volumen eliminado tras una limpieza (figura 12).



Figura 11. Simulación virtual de actuaciones sobre el modelo: rediseño de orejas

Una vez generadas las representaciones gráficas tridimensionales, se facilita realizar los análisis y estudios directamente sobre esos modelos. Además, al realizar el escaneado previamente a la intervención hemos obtenido un registro gráfico tridimensional que ya, en el día de hoy, no es posible repetir.

La utilización de la tecnología del escáner láser 3D aporta una herramienta más al proceso de restauración, complementaria a los sistemas ya existentes de representación gráfica.

6. Trabajos futuros

La reconstrucción tridimensional de los modelos a partir de la información obtenida mediante el escáner láser permite aplicar sobre estos diversas actuaciones/simulaciones sin tener que actuar directamente sobre los modelos reales, y que en algunos casos serían difíciles de llevar a cabo.

Una vez que tenemos los modelos fácilmente se podrían realizar reconstrucciones virtuales de la fuente completa para que los visitantes a La Alhambra puedan ver la fuente mientras están realizando las actuaciones de limpieza (figura 13). Estas reconstrucciones podrán servir como puesta en valor de la propia fuente al permitir observar el modelo sin estar delante de él.

Los restauradores podrán usar los modelos para realizar simulaciones virtuales de reintegración de elementos perdidos (figura 11), sin tener que actuar directamente sobre los leones.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Patronato de la Alhambra y Generalife y parcialmente soportado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología y los fondos FEDER, a través del proyecto TIN2007-67474-C03-02 y por la Consejería de innovación Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía a través del proyecto de excelencia TIC-401.

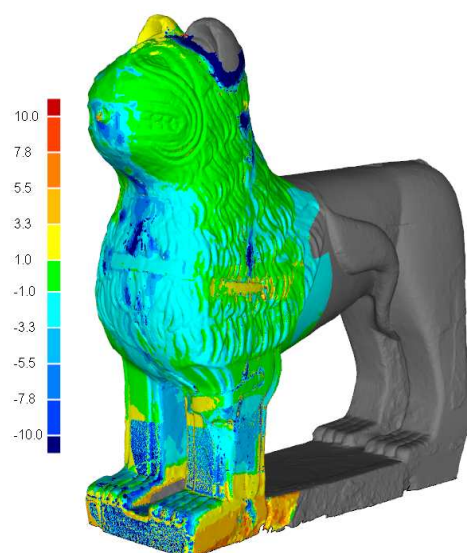


Figura 12. Cálculo de diferencias entre volúmenes después de actuaciones de limpieza

Otra de las ventajas que nos da tener estos modelos 3D es la posibilidad de poder reconstruir las figuras en caso de deterioro o destrucción, así como la construcción de modelos a escala de los mismos



Figura 13. Reconstrucción virtual de la fuente con los modelos obtenidos mediante escáner láser.

Bibliografía

- VALLE, J. M. (2006): Reflexiones sobre la Documentación Geométrica del Patrimonio. *Papeles del Partal*, núm. 3. [http://www.academiadelpartal.org/revista/revista_03/n3_8.pdf]
- PAG (2004): Memoria de Intervención en el León nº 4 de la Fuente de los Leones. 2002-2004. *Patronato de la Alhambra y Generalife*.
- ALMAGRO, A. (1996): Realización de mapas de daños y de volumen: Fotogrametría. *Curso: "Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de bienes muebles"*.
- TIENZA, C. (2007): Proyecto integral de conservación-restauración en la Fuente de los Leones. Palacio y Patio de los Leones de la Alhambra. Informes de seguimiento de la intervención. *Documento de trabajo del Servicio de Conservación, Patronato de la Alhambra y Generalife*.
- GONZÁLEZ, A. (2006). Aportaciones de los sistemas de tratamiento digital de imagen en el estudio de las obras de arte. *Innovación tecnológica en la Conservación y Restauración del patrimonio*. U.A. Madrid
- MINOLTA (2008): Escáner 3D Konica Minolta Vivid 910. [<http://www.minolta3d.com>]
- TORRES, J.C.; MELERO, F.J.; CANO, P.; MARTÍN, D.; LEÓN, A. (2007): Generación automatizada de modelado 3D para difusión y documentación del patrimonio histórico". En: Hernández, L. y Flores, J. (eds.) "Informática Gráfica y Patrimonio Histórico". pp: 111-120.
- ESPAÑA, M.; MORENO, J.J.; MARTIN, D.; CANO, P. (2008): Herramientas para la triangulación y registro inicial de modelos 3D a partir de nubes de puntos. *Congreso Español de Informática Gráfica*, pp: 261-264.
- SCHROEDER, W.J.; ZARGE, J. A.; LORENSEN, W. E. (1992): Decimation of Triangle Meshes. *Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 65-70.
- HOPPE, H. ; DEROSE, T.; DUCHAMP, T.; MCDONALD, J.; STUELZLE, W. (1993): Mesh Optimization. *ACM SIGGRAPH 1993*, pp. 19-26.