

## Nuevas tecnologías en levantamientos aplicadas a la restauración: “El Giraldillo”

José Antonio Barrera Vera <sup>1</sup>, Antonio Pérez Romero <sup>2</sup>, Rafael Ortiz Marín <sup>3</sup> y Carlos Cobos Gutiérrez <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Gráfica E.U.A.T. Universidad de Sevilla, España.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Gráfica. E.U.I.T.A. Universidad de Sevilla, España.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Gráfica. E.T.S.I. Universidad de Sevilla, España

### Resumen

*El trabajo hace referencia al levantamiento mediante un escáner láser basado en tiempo de vuelo y modelado sólido de la copia, realizada por métodos tradicionales, de la veleta que corona la torre de la Giralda de Sevilla, el conocido “Giraldillo”.*

*Las grandes dimensiones del objeto de estudio y su ubicación en un lugar público hacen que otros métodos de obtención de datos no puedan aplicarse o precisen elementos auxiliares para su puesta en práctica, lo cual supondría tener inhabilitada su exposición durante un tiempo.*

*Con ocasión del trabajo se tendrá oportunidad de contrastar los resultados de la aplicación de técnicas de levantamiento mediante estación total láser y escaneado láser tridimensional.*

**Palabras Clave:** PATRIMONIO, ESCANEADO 3D, MODELADO SÓLIDO, REALIDAD VIRTUAL, INGENIERÍA INVERSA.

### Abstract

*This work consists in the geometric survey of a big statue by means of a laser scanner and solid modelling. It has been chosen, for its complexity and singularity of the image. It's about the copy of the weather vane that crowns the tower of the Giralda of Seville, the well-known "Giraldillo", carried out by traditional methods a few years ago. The big dimensions of the study object and its location in a public place make that other methods of obtaining of data cannot be applied without using auxiliary elements to be carried out, this would suppose to have disable its exhibition during a certain time.*

*By means of this experience we will have opportunity to contrast the results of the application of technical of geometric survey with laser total station and three-dimensional laser scanner.*

**Key words:** HERITAGE, 3D SCANNER, SOLID MODELLING, VIRTUAL REALITY, INVERSE ENGINEERING

## 1. OBJETIVOS

Un grupo de profesores de este Departamento realizó, en Julio del año 2.000 el levantamiento de una nube de puntos del Giraldillo, que se hallaba en las dependencias del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico y que sirvió como soporte de una triangulación para un posterior cálculo resistente.

Dicha nube se levantó con los mejores medios que se disponían en aquellas fechas (Estación Total Leica TCR 1103) tomándose datos desde 3 posiciones distintas y uniéndose posteriormente las correspondientes nubes en una sola con un total de 17.705 puntos. Dicha nube, Figura 1, cumplió con su cometido que no era otro que servir de base a una triangulación, pero generó el sentimiento de realizar un modelo sólido de la escultura.

Este trabajo tiene pues dos objetivos:

1. La elaboración del modelo virtual de la copia del Giraldillo que se encuentra situada en la Puerta del Príncipe de la Catedral de Sevilla y que substituyó al original, coronando la Giralda, entre 1.997 y 2.005.
2. A partir de los resultados obtenidos sentar las bases de un protocolo para los levantamientos de esta naturaleza.



Figura 1. Nube de puntos obtenida en 2000

## 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

### 2.1 De la veleta de la Catedral de Sevilla comúnmente llamada Giraldillo

Es imposible resumir en unas pocas líneas casi quinientos años de historia, no obstante pasaremos revista de manera casi críptica a los aspectos esenciales.

### 2.2 De su función como veleta

La belleza de la estatua que corona la veleta ha relegado a segundo término su propia razón de ser. Nos hallamos ante un conjunto mecánico que permite el giro de una estatua hueca de bronce que pesa 1.525 Kilogramos mediante una espiga interior de diámetro variable con un valor mínimo de tan sólo 7 centímetros.

Dos breves datos pondrán de manifiesto la colosalidad de la misma, en efecto sus pies miden algo menos de medio metro y su altura es de tres metros y medio. La Figura 2 presenta el vástago y el mecanismo giratorio de la veleta, datado en 1.770 y situado en uno de los patios interiores de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla.



Figura 2. Vástago y mecanismo giratorio. (1.770)

### 2.3 Del nombre de la misma

Inicialmente la escultura que corona la veleta se denominó Giralda (ya que giraba). Don Miguel de Cervantes recoge ya este nombre. Posteriormente se llamó Giralda a la torre que lo sustenta y la figura de la veleta pasó a ser el Giraldillo.

### 2.4 De su diseño y fundición

El dibujo original de la escultura parece deberse al pintor Luis de Vargas que pudo inspirarse en una representación de Palas

Atenea de Giulio Romano o de Perin del Vaga según otros autores. Esta representación dio lugar al grabado de Marco Antonio Raimondi, en el que pudo inspirarse Luis de Vargas.



Figura 3. Palas Atenea: Marco Antonio Raimondi

El escultor Juan Bautista Vázquez “El Viejo” realiza el molde en el que fue fundida por Bartolomé Morell (1.568) y subida al campanario en Agosto de ese mismo año.

### 2.5 Del posible cambio de símbolo de la escultura

Como hemos dicho simboliza la virtud de la Fe, sin embargo también existe la teoría de que en origen representó la virtud de la Fortaleza cambiándose a raíz de los nuevos planteamientos surgidos del Concilio de Trento (1.546-1.564).

Este planteamiento viene avalado entre otros hechos por:

- Carencia de los atributos iconográficos clásicos de la Fe en esa época como el cáliz o el libro de los Evangelios por ejemplo.
- Presencia de atributos claramente representativos de la Fortaleza como casco, armadura y calzado claramente inspirado en la “caliga” romana.
- La inscripción que corona la Giralda “Turris fortissima”

En contra y también entre otros destacamos:

- En los documentos de la época se recoge explícitamente que representa a la Fe.

### 2.6 De las reparaciones y actuaciones que sobre ella se han hecho

Han sido numerosas las intervenciones realizadas a lo largo de la historia. Nos centraremos en la última por ser la más completa de todas las realizadas y por haber participado en ella profesores de este Departamento. En términos cronológicos los hitos más importantes fueron:

- 1.997 Se determina fatiga del bronce de la escultura en más de un 70% de la misma.
- Se comienza a realizar una réplica de la misma.

- El Giraldillo es bajado del campanario de la Giralda.
- 1.999 Tras una larga exposición al público de original y copia, ésta es subida a la Giralda.
- 2.003 Se termina la restauración del original después de seis años de trabajo y unos 600.000 euros de inversión por parte de la Junta de Andalucía.
- 2.005 La copia es bajada de la Giralda y substituida, un mes más tarde por el original. El coste de ambas operaciones ascendió a 120.000 euros.



Figura 4. La copia del Giraldillo objeto del presente trabajo

### 2.7 De la ingeniería inversa aplicada a la escultura: La Minerva de Arezzo

Es, probablemente, uno de los modelos sólidos más conocidos realizado a partir de un escaneado laser. Si bien la técnica en el empleadas es diferente de la aquí usada los buenos resultados allí obtenidos justifican este trabajo, aplicable a levantamientos “in situ”.

Se trata de una representación de la diosa Minerva, realizada en bronce y copia de otra atribuida a Praxiteles. Data del siglo III o IV (A de C) y fue descubierta en 1.541. La estatua mide unos 150 centímetros de altura y unos 150 kgs de peso, en la actualidad se halla en el Museo Arqueológico de Florencia.

La restauración, de la que forma parte el modelo inicial fue realizada, en el año 2.006, por la Soprintendenza Archeologica de la región de Toscana.

Los resultados iniciales de este modelo pueden apreciarse en las referencias (GALLARDO FUENTES, 1998) y (MORÓN DE CASTRO, 2006).

El modelo no solo permitió una restauración integral de la escultura sino que posibilitó, dado que el brazo extendido procedía de una restauración de 1.785, el análisis de otras posibles formas iniciales de la escultura.

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1 Equipo empleado en la toma de datos

Leica ScanStation 2, es un modelo indicado que aúna las cualidades de una estación total y un escáner 3D en un solo aparato, lo cual acarrea indudables ventajas en la adquisición de datos en campo, pues la orientación de los distintos escaneados es inmediata, al tiempo que la georreferenciación con respecto a puntos conocidos del entorno se facilita enormemente.

Sistema de medición láser que emplea es time-of-fly y el láser empleado es tipo 3R, seguro para la vista de acuerdo con IEC60825-1:2001. El rango de medición va desde 1 a 134 ó 300 m, dependiendo de la reflectividad del objetivo, precisión de medida (de 1 a 50 m) 6 mm en posición y 4 mm en distancia, resolución 4 mm, velocidad de escaneo de más de 4000 pts/s, longitud de onda del Láser verde, tamaño de punto 4 mm, campo de escaneo vertical de 0° a 270° y horizontal de 0° a 360°, mínimo espacio entre pulsos 1.2 mm.

### 3.2 Organización de la toma de datos

Generación de nubes de puntos: se realizaron siete barridos de la escultura, cuya distribución aparece reflejada en la Figura 5.



Figura 5. Localización del escáner en los barridos realizados

El círculo señala la localización de la escultura y los puntos rojos las distintas posiciones del escáner.

Barrido	Situación escáner	Total de puntos	Puntos seleccionados
1	Frente	1.519.554	205.917
2	Frente - Derecha	1.991.412	143.476
3	Derecha	978.070	33.483
4	Espalda	498.627	69.986
5	Espalda - Izquierda	453.371	33.442
6	Izquierda	739.545	26.216
7	Frente - Izquierda	847.846	60.216

<b>Totales</b>	<b>7.028.425</b>	<b>572.736</b>
----------------	------------------	----------------

Tabla 1. Puntos generados en los barridos

### 3.3 Trabajos realizados en gabinete

Una vez finalizada la toma de datos se procedió, en gabinete a la realización de los siguientes trabajos:

Integración de los datos obtenidos en siete nubes de puntos y eliminación la información sobrante, dado que el escáner toma puntos de todo el entorno de la escultura. En una primera fase, eliminamos los puntos situados detrás del Giraldillo y los del soporte Figuras 6 y 7.

Seguidamente se realiza un filtrado de la nube de puntos, para eliminar posibles redundancias

Preparados los puntos, procedemos a realizar la triangulación 3D. Hemos optado por realizar una triangulación superficial, que

consume menos recursos informáticos y también es más fácil de manejar. Figura 8.



Figuras 6 y 7. Nubes de puntos completas desde uno y otro punto de vista



Figura 8. Resultado de la triangulación

Al tratarse de superficies sin espesor, se puede indicar al programa de modelado qué parte de la superficie generada debe ser visible, para poder diferenciar con facilidad cuál es la parte exterior o haz (la que debe mostrarse visible) y la interior o envés (que permanecerá invisible en todo momento).

En un modelo tan complejo como el que estamos estudiando es muy frecuente que el programa cometa errores en la orientación de las superficies, de manera que algunos conjuntos de triángulos no se ven desde el punto de vista correcto. Como consecuencia se hace necesario seleccionar las superficies invertidas y cambiarles la orientación.

Una vez corregido este problema es necesario limpiar la triangulación, buscando tanto mediante algoritmos automáticos como manualmente, intersecciones de triángulos, caras excesivamente puntiagudas, etc.

Una vez limpia la triangulación, obtenemos una primera aproximación del modelo en el que con toda probabilidad aparecerán huecos en las superficies.

El programa de modelado implementa algoritmos realmente eficaces a la hora de interpolar en el relleno de agujeros, pero algunos son demasiado grandes para rellenarlos y otros, simplemente no debemos taparlos si sabemos que esa parte que no se ve se ha medido desde otra posición del escáner.

Una vez realizadas todas las operaciones de revisión y correcciones previas, obtenemos resultados que en principio

representan un aspecto demasiado rugoso, que no corresponde a la realidad del objeto escaneado. Esto hace necesario realizar un suavizado de la superficie, pero teniendo en cuenta que los puntos de base deben conservar su posición original, con objeto de mantener una representación fiel del original. tal como muestra las Figuras 10 y 11.



Figura 9. Agujeros en la triangulación



Figura 10. Superficies antes del suavizado



Figura 11. Superficies después del suavizado

Una vez comprobados los correctos acabados de cada superficie realizamos el ensamblaje de todas para obtener el modelo completo. Empezamos uniendo dos superficies con suficiente área de contacto.

El ajuste para la unión se realizó en tres fases, en primer lugar seleccionando puntos de control comunes sobre los modelos que debemos ajustar, buscando la máxima coincidencia y también una distribución espacial adecuada, ocupando posiciones en los lugares más extremos. La Figura12 pone de manifiesto este proceso.

Una vez realizada esta primera aproximación se puede realizar un “ajuste fino” automático. Tras esta segunda fase, debemos proceder a unir las superficies que han intervenido para



conseguir un elemento único. Las Figuras 13 y 14 nos muestran los resultados obtenidos

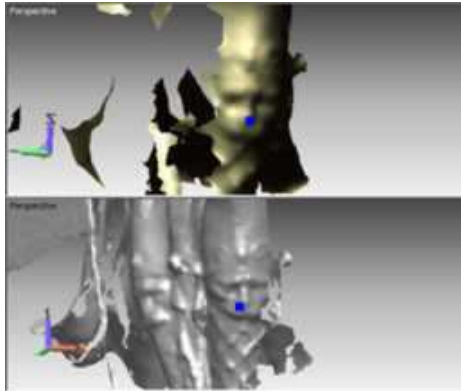
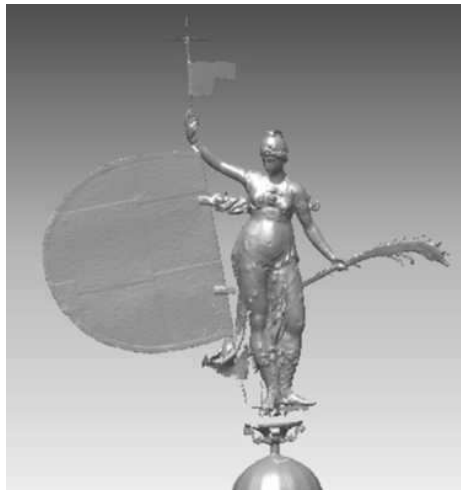


Figura 12. Selección de puntos de control para el ajuste de dos superficies



Figuras 13. Maqueta virtual resultante. Vista anterior



Figura 14. Maqueta virtual resultante. Vista posterior

#### 4. RESULTADOS

Es necesaria mayor densidad de puntos en zonas pequeñas de gran detalle. El aspecto final quedará bastante mejorado una vez que se le asigne al modelo las texturas de foto.

Como consecuencia de las limitaciones de resolución y del proceso de modelado, ciertos de talles aparecen difuminados (véase el broche de la pierna en Figura 15).



Figura 15. Vista de espalda

#### 5. CONCLUSIONES

- El escaneado laser empleado es un método fiable y flexible, lo que le hace particularmente valioso en este tipo de levantamientos de objetos fijos, de gran tamaño y en vías públicas.
- De la escasa proporción de puntos empleados, con relación a los tomados y de los resultados obtenidos el modelo final debe obtenerse por refinamientos sucesivos a partir de un modelo básico. La secuencia sería pues una primera toma de datos y confección del primer modelo (El básico), una segunda toma de datos para rellenar “agujeros” y densificar la malla y así sucesivamente.
- Ante la uniformidad de la toma de datos del escáner el levantamiento debe completarse con otros realizados con escaneos específicos para definir elementos muy orgánicos.
- Con carácter general la iluminación ha de ser lo más homogénea posible a efectos de la asignación de textura.

##### 5.1 Como líneas de posibles investigaciones podemos citar:

- 1ª. Establecer protocolos de actuación para reducir los problemas de la triangulación con las técnicas actuales.
- 2ª. Buscar nuevos algoritmos de triangulación y/o mallado de la nube de puntos aportando soluciones novedosas como podría ser trabajar más la nube de puntos para obtener una densidad más homogénea, introduciendo parámetros que controlen la posición del scanner y la distancia de cada voxel.

## BIBLIOGRAFÍA

### De carácter técnico

AGUILAR GÁLEA, José A. (2004): *Métodos y técnicas de reproducción artística aplicadas a la conservación y difusión del patrimonio escultórico. I Congreso Internacional de Patrimonio, Desarrollo rural y Turismo en el siglo XXI*. Osuna.

BARRERA VERA, José A. (2006): *Aplicación de tecnologías innovadoras en la documentación geométrica del Patrimonio Arquitectónico y Arqueológico. Tesis Doctoral*. Sevilla.

BARRERA VERA, José A et al. (2005): *Nuevas tecnologías de levantamiento aplicadas a la arqueología y la restauración: La muralla almohade de Sevilla*. Sevilla.

COBOS GUTIÉRREZ, Carlos et al.(2008): *Introducción a la representación gráfica por ordenador*. Sevilla (Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla)

ROCCHINI, C.; CIGNONI, P.; MONTANI,C.; PINGI, P.; SCOPIGNO, R.; FONTANA, R.; GRECO, M.;PAMPALONI, E.;PEZZATI, L.; CYGIELMAN, M.; GIACHIE'TTI, R.; GORI, G.; MICCIO, M.; PECCHIOLI, R.: *3D Scanning the Minerva of Arezzo*.

PEZZATI, L. et al. (2008): *3D Scanning of Artworks . Handbook on the Use of Laser in Conservation and Conservation Science*.

RICO IGLESIAS, Daniel.: *Aplicación de herramientas informáticas industriales de alto nivel a levantamientos historico-artísticos: El Giralddillo de Sevilla*. Proyecto Fin de Carrera.

### De carácter histórico

GALLARDO FUENTES, José M.; JIMÉNEZ MARTIN A. (1998): *Cuatro siglos de reparaciones del Giralddillo. El Giralddillo (La mirada del otro)*. Sevilla.

MORÓN DE CASTRO, María F. (2006): *La escultura del Giralddillo de la Catedral de Sevilla y su interpretación iconológica*. Córdoba: (Publicaciones Caja Sur).