

SANDRO PARRINELLO

ANTONIO GÓMEZ-BLANCO

FRANCESCA PICCHIO

CUADERNO DE TRABAJO PARA LA DOCUMENTACIÓN ARQUITECTÓNICA

# EL PALACIO DEL GENERALIFE

DEL LEVANTAMIENTO DIGITAL AL PROYECTO DE GESTIÓN

PROSPETTIVE MULTIPLE  
STUDI DI INGEGNERIA  
ARCHITETTURA E ARTE

PAVIA UNIVERSITY PRESS

Cuaderno de trabajo para la documentación arquitectónica

Sandro Parrinello Antonio Gómez-Blanco Pontes Francesca Picchio

# EL PALACIO DEL GENERALIFE

Del levantamiento digital al proyecto de gestión



El palacio del Generalife : del levantamiento digital al proyecto de gestión : cuaderno de trabajo para la documentación arquitectónica / Sandro Parrinello, Antonio Gómez-Blanco Pontes, Francesca Picchio. - Pavia : Pavia University Press, 2017. - 222 p. : ill. ; 21 cm.

(Prospettive multiple: studi di ingegneria, architettura e arte)

ISBN 9788869520716 (brossura)

Esta publicación forma parte de la serie "Prospettive multiple: studi di ingegneria, architettura e arte", que cuenta con un panel de referees internacionales. "El palacio de Generalife. Del levantamiento digital al proyecto de gestión" es un texto científico evaluado y aprobado por el Comité Científico Editorial de la Editorial Pavia University Press de la Universidad de Pavia.

Los editores y los autores están a disposición de quienes no hayan podido ser contactados por cualquier omisión e inexactitud.



© Copyright 2017

by Pavia University Press -

Edizioni dell'Università degli Studi di Pavia

Via Luino, 12 - 27100 Pavia (PV)

Tel: +39 0382 987743 / 985047

Fax: +39 0382 985047

Email: unipress@unipv.it

EDICIÓN

Sandro Parrinello,

Antonio Gómez-Blanco Pontes

Francesca Picchio

DISEÑO GRÁFICO

Francesca Picchio

IMPRESO POR

DigitalAndCopy S.A.S., Segrate (MI)

ISBN 978-88-6952-071-6

En la portada: Nube de puntos del palacio del Generalife

Los derechos de traducción, almacenamiento electrónico, reproducción (incluso adaptación parcial), por cualquier medio, están reservados para todos los países.

Las fotocopias para uso personal del lector no pueden exceder el 15% de cada libro y con pago a SIAE de la compensación prevista en el art. 68, c. 4, de la Ley 22 de abril de 1941, n. 633 y por acuerdo de 18 de diciembre, entre SIAE, AIE, SNS y CNA, ConfArtigianato, CASA, CLAAI, ConfComercio, ConfEsercenti. Las reproducciones con fines diferentes a los mencionados anteriormente sólo podrán realizarse previa autorización expresa de quienes tengan derecho de autor a la Editorial.

Este libro fue publicado junto con la exposición "Documentación arquitectónica del Palacio del Generalife", realizada en la ETS\_ Escuela Superior de Arquitectura de la Universidad de Granada, del 11/10/2017 al 31/10/2017. La exposición abarcó los resultados de un proyecto de investigación promovido por la Universidad de Pavia y la Universidad de Granada, en particular por el DAda Lab (Drawing, Architecture DocumentAction Laboratory de la Universidad de Pavia ), SMLab LAB (Survey and Modeling LAB of Architectural Heritage de la Universidad de Granada) y LS3D (laboratorio conjunto universidad y empresa Landscape Survey & Design de la Universidad de Florencia y de la Universidad de Pavia). Los Jefes del Convenio de Colaboración entre Laboratorios son el Prof. Sandro Parrinello y el Prof. Antonio Gómez-Blanco Pontes.

#### CURADORES DE LA EXPOSICIÓN

Sandro Parrinello

Antonio Gomez-Blanco Pontes

Francesca Picchio

DICAr Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura, Universidad de Pavia

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería, Universidad de Granada

DICAr Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura, Universidad de Pavia

#### COMITÉ ORGANIZADOR DE LA EXPOSICIÓN

Reynaldo Fernández Manzano

Manuela Reina de la Torre

Laura Esparragosa Díaz

Javier Gallego Roca

Rafael García Quesada

Antonio Gómez-Blanco Pontes

Ricardo Hernández Soriano

Josemaría Manzano Jurado

Milagros Palma Crespo

Sandro Parrinello

Francesca Picchio

Director del Patronato de la Alhambra y Generalife

Patronato de la Alhambra

Patronato de la Alhambra

DCA Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada

DCA Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería, Universidad de Granada

DCA Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería, Universidad de Granada

DCA Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada

DICAr Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura, Universidad de Pavia

DICAr Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura, Universidad de Pavia

#### COMITÉ CIENTÍFICO

Stefano Bertocci

Daniela Besana

Antonio Conte

Lourdes Gutierrez Carrillo

Fauzia Farneti

Reynaldo Fernández Manzano

Rafael García Quesada

Antonio Gómez-Blanco Pontes

Antonella Guida

Ricardo Hernandez

Raffaella Lione

Josemaría Manzano Jurado

Giovanni Minutoli

Marco Morandotti

Andrea Nanetti

Catuxa Novo Estebánez

Sibel Onat Hattap

Milagros Palma Crespo

Luis Palmero Iglesias

Sandro Parrinello

Francesca Picchio

María Dolores Robador González

Adriana Rossi Seconda

Antonio Ruiz Sánchez

Riziero Tiberi

Silvio Van Riel

Universidad de Estudios de Florentia

DICAr Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura, Universidad de Pavia

Universidad de Estudios de Basilicata

Universidad de Granada

Universidad de Estudios de Florentia

Director del Patronato de la Alhambra y Generalife

Universidad de Granada

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería, Universidad de Granada

Universidad de Estudios de Basilicata

Universidad de Granada

Universidad de Estudios de Messina

Universidad de Granada

Universidad de Estudios de Florentia

DICAr Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura, Universidad de Pavia

Nanyang Technological University

Jefa de Servicio de Jardines, Bosques y Huertas del Patronato de la Alhambra y Generalife

Mimar Sinan Fine Arts University, Estambul

Universidad de Granada

Universitat Politècnica de València

DICAr Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura, Universidad de Pavia

DICAr Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura, Università di Pavia

Universidad de Sevilla

Universidad de Estudios de Nápoles

Jefe de Servicio de Conservación y Protección del Patronato de la Alhambra y Generalife

Universidad de Estudios de Florentia

Universidad de Estudios de Florentia

Esta publicación se realizó con la contribución de DICAr, Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad de Pavia, del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica e Ingeniería de la Universidad de Granada y del Patronato de la Alhambra y Generalife.



Patronato de la Alhambra y Generalife  
CONSEJERÍA DE CULTURA

Patronato de la Alhambra y Generalife



Università  
di Pavia



Universidad  
de Granada



Escuela Superior de  
Arquitectura de Granada



Departamento de Expresión  
Gráfica Arquitectónica y en la  
Ingeniería



Dipartimento di Ingegneria  
Civile ed Architettura



DAda Lab\_ Drawing and  
Architecture DocumentAction



SMLab, Survey and Modeling  
LAB of Architectural Heritage



LS3D\_ Laboratory  
Landscape, Survey and Design



EBIME, BIM Consulting Services  
for Architecture and Engineering

La exposición "Documentación arquitectónica del Palacio del Generalife" y su relativo catálogo monográfico como Cuaderno de trabajo para la documentación arquitectónica "El palacio del Generalife. Del levantamiento digital al proyecto de gestión" se presentaron en el V Congreso Internacional de documentación, conservación y reutilización del patrimonio arquitectónico y paisajístico ReUSO 2017, celebrado en Granada del 18 al 21 de octubre de 2017.



V Congreso Internacional de documentación, conservación y  
reutilización del patrimonio arquitectónico y paisajístico ReUSO 2017.

# INDICE

## PRESENTACIONES

Fabio Rugge	Rector de la Universidad de Pavia	09
Pilar Aranda Ramírez	Rectora de la Universidad de Granada	10
Lalo Magni	Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Pavia	11
Josemaría Manzano Jurado	Director de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada	12
Ferdinando Auricchio	Director del DICAr - Departamento de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad de Pavia	13
Juan Domingo Santos	Director del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería de la UGR	14
Antonio Ruiz Sánchez	Jefe de Servicio de Conservación y Protección del Patronato de la Alhambra y Generalife	15
Marco Morandotti	Presidente del Máster en ingeniería arquitectónica de la Universidad de Pavia	16

PREFACIO	21
----------	----

## CAPITULOS

01 LA ALMUNIA Y EL PALACIO DEL GENERALIFE	27
02 EL GENERALIFE DESAPARECIDO	37
2.1 El Generalife en época medieval	38
2.2 Los primeros años del Generalife cristiano (1492-1537)	44
2.3 El Generalife de la familia Granada Venegas (1537-1921)	48
2.4 El Generalife en el siglo XX	54
03 PARA UN LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO DEL GENERALIFE. EL MANIFIESTO DE LA ALHAMBRA COMO DOCUMENTO DE REFERENCIA	65
04 EL LEVANTAMIENTO DEL GENERALIFE. CAMPAÑA DE 2017	73
4.1 La planificación de los trabajos de campo del escaneado láser	76
4.2 La construcción del archivo 3D	80
4.3 El registro de la base de datos 3D	84
4.4 El levantamiento fotogramétrico	90
4.5 Toma de datos con 3D EYE	94
4.6 El dibujo del Palacio del Generalife	100
05 LA CATALOGACIÓN DE LOS ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS	109
5.1 Descomposición de los elementos arquitectónicos	110

5.2	El levantamiento tridimensional y el modelado de elementos decorativos	114
5.3	El análisis de los elementos decorativos y los patrones geométricos	118
5.4	La confección de la ficha catalográfica	122
06	EL MODELADO TRIDIMENSIONAL DEL GENERALIFE	127
6.1	Desarrollo del modelo 3D. De la base de datos al Modelado Inverso	130
6.2	La modelación NURBS del Palacio	134
6.3	El modelado del sistema decorativo	138
6.4	Creación de un sistema interactivo para la exploración del modelo 3D	144
07	PARA LA REPRESENTACIÓN Y GESTIÓN DE LA VEGETACIÓN	149
7.1	Definición de un lenguaje adecuado y medida de la vegetación	156
7.2	Para una catalogación de los elementos vegetales	162
08	TRABAJOS PREVIOS A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM	167
8.1	Recepción y estudio de la información de la nube de puntos	168
8.2	Adecuación de la nube de puntos al modelado BIM	170
09	LA CREACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL BASADO EN LA METODOLOGÍA BIM	173
9.1	A propósito de BIM: Contexto global y vías de investigación	174
9.2	Generación del Existing Building Information Model del Palacio del Generalife	180
10	UN LENGUAJE TEMÁTICO PARA LA CONSERVACIÓN	189
10.1	El uso de la base de datos 3D para el análisis de deformaciones	190
10.2	Metodología de un análisis crítico energético	196
10.3	Levantamiento térmico y toma de datos de transmitancias	198
10.4	Hacia un BIM que incluya la lectura energética	200

NOTAS 202

BIBLIOGRAFIA 206

CREDITOS

CREDITOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	214
FOTOS DE LA CAMPAÑA DE LEVANTAMIENTO DEL PALACIO DEL GENERALIFE - FEBRERO 2017	216
PRESENTACIÓN DE LOS PRIMEROS RESULTADOS EN EL AULA MAGNA DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA, 24- FEBRERO 2017	219
CRÉDITOS DE LA PUBLICACIÓN	220
CRÉDITOS DE LAS TRADUCCIONES	222
CRÉDITOS DE LAS IMÁGENES	222

# 04.5 TOMA DE DATOS CON 3D EYE

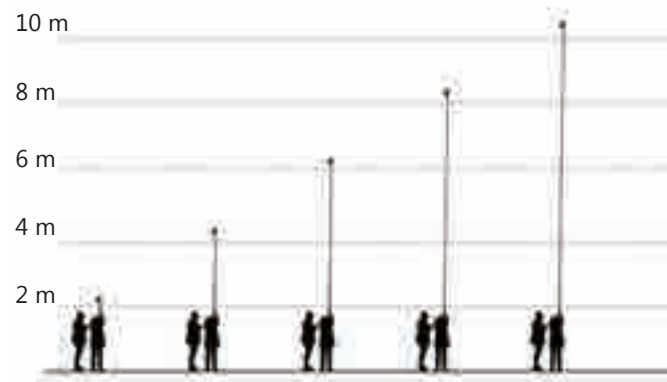
A. Dell'Amico  
E. Bordini

Dada la compleja morfología del Generalife, para poder documentar fotogramétricamente y de la manera más exhaustiva posible todas las superficies del conjunto palatino, fue necesaria la obtención de algunas imágenes utilizando 3D EYE, una herramienta específica para la adquisición fotogramétrica en altura. Para obtener medidas correctas, es necesario saber interpretar cada paso del conjunto de operaciones, prever los problemas y conocer el equipo fotográfico que se va a utilizar. El 3D EYE consiste en una cámara de alta resolución, controlada de forma remota y conectada a un estabilizador electromecánico "gimball" que puede girar sobre dos ejes. La cámara se sitúa en el extremo de una pértiga telescópica de fibra de carbono que puede alcanzar una altura de 13,5 m.

La cámara ("Lens style" DSC-QX30 con zoom óptico de 30x) cuenta con un objetivo Sony G con un sensor CMOS Exmor R de 7,82 mm de 18,2 megapíxeles, con una longitud focal entre unos 4,45 y unos 44,50 mm y un ISO de 80 a 12800. El sistema 3D EYE se controla a través de una aplicación sobre tableta (3D EYE Control) que permite ver en directo el punto de vista desde la cámara. Esta herramienta permite gestionar con precisión el enfoque de la cámara en tiempo real, además de poder controlar la superposición con la toma anterior.

Con esta solución se ha podido acelerar la fase de adquisición, y al mismo tiempo garantizar una buena base de datos para el éxito de los procesos posteriores.

En las fases de toma con 3D-EYE es necesario el trabajo de dos operadores, una persona se encarga de mantener estable la pértiga durante la toma, y la otra de manejar el sistema remoto controlado mediante la tableta.



La instrumentación 3D Eye consiste en una varilla telescópica de fibra de carbono, capaces de alcanzar niveles de altura diferentes para un rango de 2 a 13,5 m.



#### METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE DATOS FOTOGRAMÉTRICOS EN ALTURA EN EL PALACIO DEL GENERALIFE

El primer paso ha sido la planificación de la toma de datos del levantamiento arquitectónico, localizando todas las áreas donde se necesitaba el sistema 3D EYE. El objetivo eran aquellas zonas cuyas alturas no permitían la adquisición con el uso del escáner láser y la fotogrametría desde el nivel del terreno, tales como cubiertas, falsos techos, acabados y decoraciones situados a una cota de más de 3 mt.

Esta herramienta ha facilitado también la documentación completa de los pavimentos del edificio, y la optimización del número de fotografías necesarias.

En concreto, se han documentado los techos y los pavimentos exteriores del Patio de las Caballerizas y de los famosos Jardines del Generalife; documentándose con más detalle los acabados del pabellón Norte: el pórtico, la Sala Regia y la Torre de Ismail I. Estos espacios, de hecho, tienen una rica decoración geométrica (muqarnas)<sup>39</sup>, además de paneles con arabescos inspirados en la curvatura y ramificación de motivos vegetales, inscripciones epigráficas y complejos techos de madera entrelazada: todos ellos basados en esquemas abstractos, debido a la estricta observancia del Corán, que prohíbe el uso de imágenes figurativas en el arte.

La siguiente fase de adquisición de fotografías trató de adecuarse a cada objeto, dependiendo de las características morfológicas y condiciones de luz del mismo. Así, para poder obtener una versión digital fiel del objeto examinado, cada toma se ha realizado ajustando los parámetros de la fotografía. La cámara ha sido utilizada en el modo A (Disparo con prioridad de apertura) que permite tomar fotografías ajustando manualmente la apertura en función del área de enfoque y del nivel de desenfoque del fondo, también permite ajustar el EV, el ISO y el balance de blancos para obtener una imagen de alta calidad con una buena representación de color.

Intentando obtener una serie de imágenes con colores y contrastes lo más homogéneas posibles entre ellas, se ha evitado que aparezcan zonas sobreexpuestas o sombras marcadas que hubieran podido alterar la precisión del dato en la fase de elaboración. Las fotografías han sido tomadas desde diferentes ángulos, respetando la correcta superposición entre dos tomas consecutivas, cada punto del objeto ha sido fotografiado desde tres puntos de vista por lo menos, para poder facilitar el reconocimiento automático de los mismos puntos en las diferentes imágenes adquiridas.

La distancia entre la máquina fotográfica y los objetos ha sido modificada según cada caso, para la adquisición de los detalles arquitectónicos se ha preferido mantener una distancia más cercana, para la adquisición de grandes superficies como en el caso de paredes exteriores lisas sin decoración, techos y pavimentos se han usado encuadres más amplios.

#### PATIO DE LAS CABALLERIZAS Y PATIO DE LA GUARDIA

Para la adquisición de la pavimentación exterior, de los tejados y el alzado de la portada de acceso al palacio en los dos primeros patios del conjunto, se ha usado la pértiga del 3D-EYE. Las tomas de fotos necesarias para la adquisición del pavimento, han requerido el posicionamiento de la cámara según un esquema basado en una malla formada por 4 rectángulos, las fotos han sido tomadas en serie de izquierda a derecha desde cada esquina del rectángulo.

En el segundo patio, el posicionamiento del instrumento ha sido complicado por la presencia de cuatro árboles que tapaban las paredes. El alzado de la portada de acceso al palacio ha sido adquirido alargando la varilla hasta 12 m y sacando una serie de fotos convergentes, el problema principal ha sido mantener la estabilidad del asta en el suelo, por las continuas oscilaciones debidas a su alargamiento.



La figura es el resultado de salida obtenido mediante el procesamiento de la imagen escaneada Agisoft Photoscan de la decoración superior de la Logia del Patio de Agua. Se creó un modelo altamente descriptivo, constituido por 297.735 vértices y 587.057 caras.

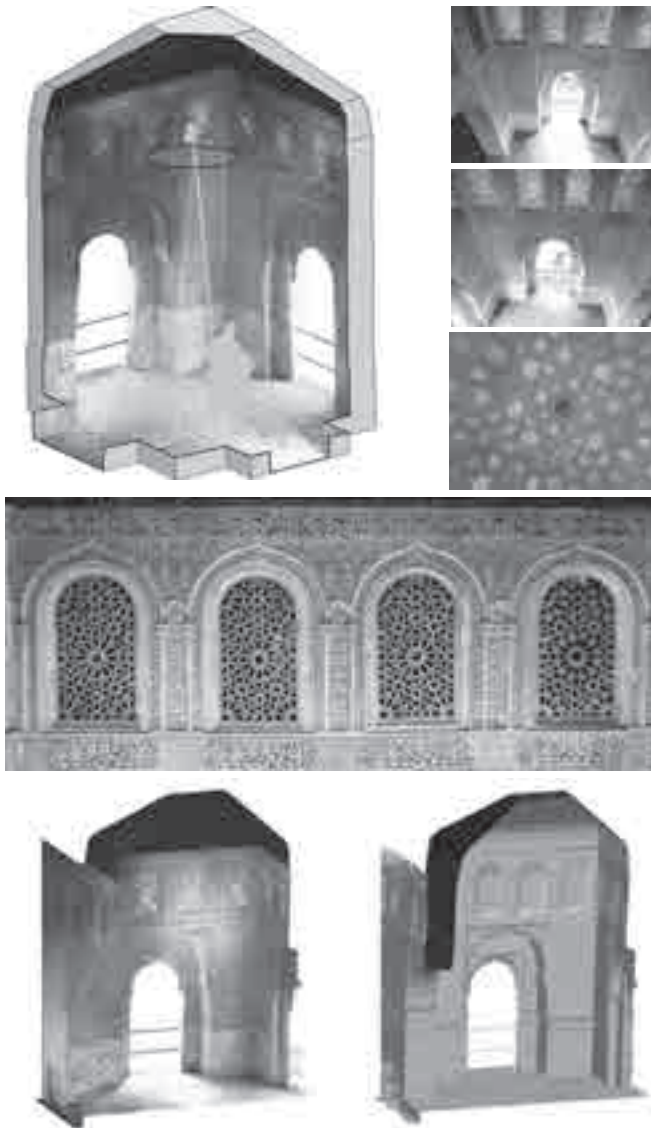
#### ALA NORTE

En el ala norte del patio de la Acequia, debido al relieve de las yeserías del pórtico, ha sido necesario realizar dos series de fotos: con la primera se ha adquirido el lado exterior del pórtico, posicionando la pértiga en seis puntos a lo largo del lado; luego se ha seguido con la adquisición de las decoraciones de las cuatro paredes del interior de la galería y del techo de madera de la misma. La pértiga ha sido posicionada a lo largo de todo el perímetro interior tomando imágenes de dos en dos con ejes convergentes.

Debido a una resolución de la cámara más baja en comparación con las reflex, ha sido necesario, en fase de adquisición, mantenerse más cerca al objeto, para poder de adquirir el mayor nivel de detalle posible. Debido a la

altura de la captura fotográfica, el archivo obtenido resulta tener un nivel de detalle más bajo a medida de se aproxima al nivel del suelo; por eso para obtener un resultado exacto, en todas sus partes, ha sido necesario unir el modelo obtenido por el 3D-EYE con el obtenido mediante el estudio fotogramétrico desde el nivel del suelo.

Con el mismo método se ha obtenido el levantamiento de las decoraciones que se encuentran a lo largo de la parte más alta de las paredes del pabellón Regio. Por su espacio limitado, las tomas fotográficas del interior de la torre de Ismail I han sido sacadas desde los cuatro ángulos de la habitación fotografiando cada vez los 3/4 de la sala. La cámara ha sido posicionada en la mitad de cada lado tomando una secuencia de fotos de izquierda a derecha y, finalmente, se hizo una adquisición desde el centro de la habitación a 360°.



En el caso de la Torre de Ismail la instrumentación de 3D-eye se colocó en el centro de la sala, se grabaron los elementos decorativos ubicados en la parte alta y el techo de madera para obtener un modelo completo de la sala.

#### LOS JARDINES

La metodología empleada en los jardines altos del Generalife, ha consistido en la adquisición fotogramétrica de cada terraza, posicionando la pértiga a lo largo de todo el perímetro de las mismas y estableciendo, además, una toma a lo largo del eje central. De esta manera se han tomado encuadres amplios, que, además de fotografiar toda la superficie de la terraza ajardinada, pudiera incluir también partes de las inferiores, para poder tener puntos homólogos entre los distintos modelos que permitieran juntarlos en uno único.

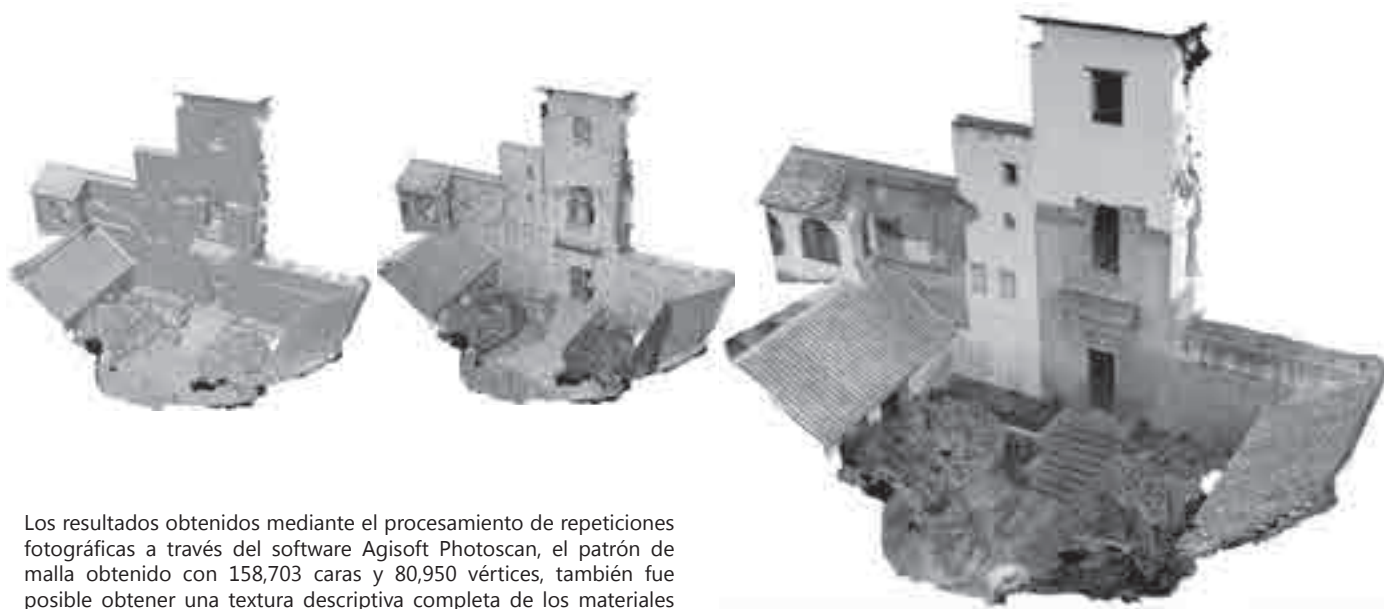
Sin embargo en el modelo obtenido resultan algunas zonas oscuras causadas por la sombra de algunos árboles. En los jardines bajos, se ha empleado el método fotogramétrico a nivel del suelo para adquirir la pavimentación de todo el área, posicionando la pértiga sólo a lo largo del perímetro. Esto es debido a la presencia de los laberintos de seto de ciprés, que en la fase de alineación de las fotos tomadas en altura, hubieran podido generar errores, alterando los resultados.



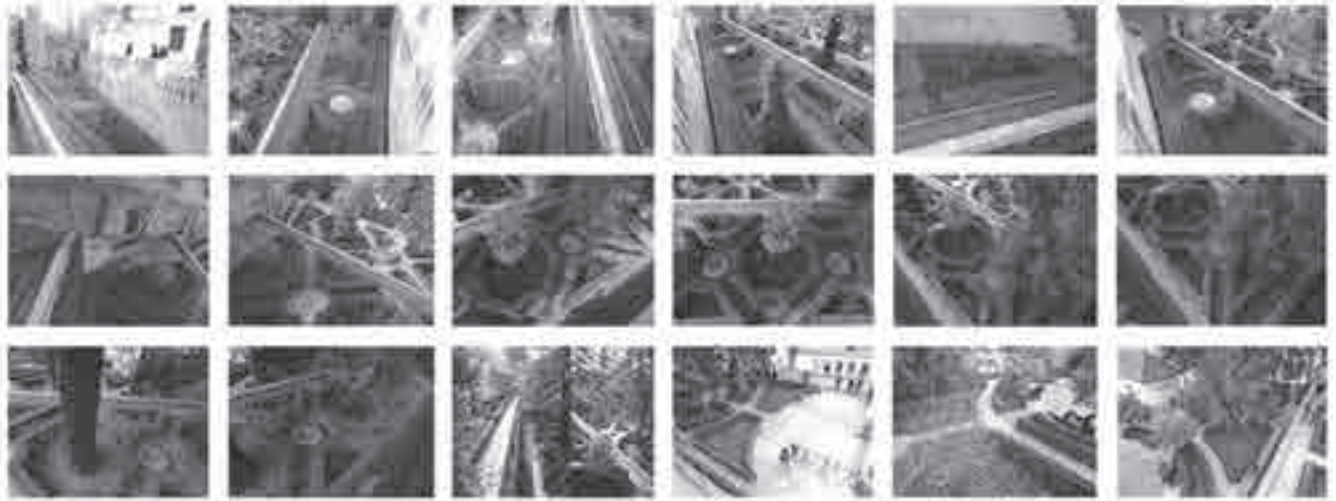
La figura muestra el camino que se ha hecho con la instrumentación 3D para la adquisición de los Jardines de Alto. La varrilla se ha colocado a lo largo del perímetro de cada terraza de la muestra para formar un camino cerrado.



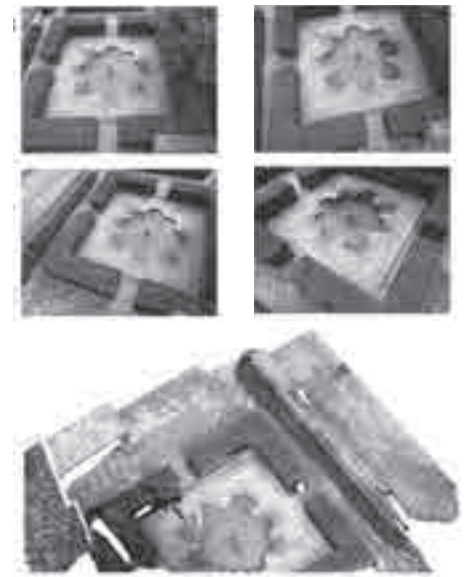
Un set de sesiones fotográficas para capturar la perspectiva de la torre que domina el patio de la guardia, dada la altura del frente, fue necesario estirar la varilla hasta el máximo de su extensión de 12m para asegurar la adquisición completa de los datos. La principal dificultad en este caso fue mantener la varilla estable en el suelo debido a la continua microscilación debido al alargamiento.



Los resultados obtenidos mediante el procesamiento de repeticiones fotográficas a través del software Agisoft Photoscan, el patrón de malla obtenido con 158,703 caras y 80,950 vértices, también fue posible obtener una textura descriptiva completa de los materiales de la torre.



Secuencias fotográficas obtenidas durante la adquisición de las diferentes terrazas de Giardini Alto, a partir de las fotos se puede observar con qué frecuencia la presencia de árboles colocados en el centro de los macizos de flores fue un obstáculo para el rodaje.



Adquiriendo el pavimento del jardín situado en la entrada del palacio, los diferentes puntos de vista se destacan en azul.

Impreso en el mes de septiembre 2017  
por Pavia University Press  
Ediciones de la Universidad de Pavia