

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada
ETSAG · UGR

Trabajo Fin de Grado

Una **valoración crítica** de los **procedimientos fotogramétricos**
aplicados a la documentación, el análisis y la difusión del
Patrimonio Arquitectónico

El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta



Autor **Javier Díaz Oliver**
Tutores **Jorge Molinero Sánchez**
Antonio Gómez-Blanco Pontes





AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, Jorge y Antonio, por ofrecerme la posibilidad de realizar este fantástico trabajo y volcarse a lo largo de este proceso que tanto he disfrutado.

A Ricardo Hernández Soriano, profesor de composición de la escuela y buen conocedor del Carmen de la Fundación.

Por supuesto, a la Fundación Rodríguez-Acosta, por dejar amablemente a nuestra disposición esta maravilla arquitectónica granadina para poder realizar el trabajo de investigación.

A mis amigos, Manu y Teru, por su ayuda desinteresada en los trabajos de campo realizados.

A mi familia, amigos y pareja.

Y para mi abuelo, a quien sin duda le hubiese gustado ver terminado este trabajo del que tanto le hablaba.

ALMAGRO, A., 2004:

“La receta es sencilla: a más dibujo riguroso, mayor conocimiento y a mayor conocimiento, más respeto”.

0. RESUMEN / ABSTRACT	8 - 9
------------------------------	-------

I. INTRODUCCIÓN

1. Presentación y Justificación del trabajo	12 - 17
2. Objetivos	18 - 25
3. Metodología y Herramientas empleadas	26 - 31

II. MARCO TEÓRICO

4. Procedimientos Fotogramétricos	34 - 51
5. Fotogrametría aplicada al Levantamiento del Patrimonio Arquitectónico. Estado de la cuestión	52 - 59
6. El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta	60 - 71

III. FUNDAMENTACIÓN EMPÍRICA

7. Portada Fachada Norte 74 - 95

8. Fachada Sur 96 - 111

9. Portada Patio de Venus.
Acceso a las Galerías 112 - 149

10. Estatuas y estanque. Patio de
Venus 150 - 163

11. Galerías Subterráneas 164 - 183

IV. CONCLUSIONES 184 - 189

V. BIBLIOGRAFÍA 190 - 193

VI. ANEXOS

Listado de imágenes 196 - 205

CAPÍTULO 0.

RESUMEN / ABSTRACT

En los últimos años hemos podido comprobar cómo el uso de la fotogrametría ha experimentado un notable desarrollo como herramienta de documentación del Patrimonio Arquitectónico.

Es precisamente a raíz de los últimos avances surgidos en el campo de la fotogrametría basada en algoritmos *SfM* (*Structure from Motion*), cuando las herramientas a utilizar no han requerido ser tan sofisticadas y por tanto ha podido ser una metodología más asequible. Circunstancia que ha permitido extender su uso y experimentación.

Este trabajo surge de la necesidad de confirmar hasta qué punto esta herramienta basada en imágenes en movimiento, es susceptible de utilizarse -o en qué medida y condiciones- en las diversas situaciones que genera el Patrimonio Arquitectónico a la hora de ser documentado. Son varios los autores de trabajos que a día de hoy han aportado destacadas experiencias en este campo. Nosotros hemos querido refrendarlas o refutarlas, e incluso ampliarlas, tomando como referencia para nuestra experimentación fotogramétrica unas áreas delimitadas de un edificio patrimonial singular que recoja varias de las situaciones que se consideran más exigentes: El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta.

Los resultados alcanzados, nos han permitido poner en valor el verdadero alcance de la fotogrametría en casos como los aquí analizados. Debemos señalar que al tratarse de un trabajo académico, se ha realizado con unos medios limitados, lo que hace que su valor radique precisamente en la economía de medios empleada.

PALABRAS CLAVE

Levantamiento Arquitectónico · Patrimonio · Fotogrametría · Modelado · *Structure from Motion*

In recent years we have been able to verify how the use of photogrammetry has undergone remarkable development as a documentation tool for Architectural Heritage.

It is precisely as a result of the latest advances in the field of photogrammetry based on *SfM* (Structure from Motion) algorithms, when the tools to be used have not required to be so sophisticated and therefore it could have been a more affordable methodology. Circumstance that has allowed to extend its use and experimentation.

This work arises from the need to confirm to what extent this tool based on moving images is likely to be used -or to what extent and under what conditions- in the various situations that Architectural Heritage generates when it is documented. There are several authors of works that to this day have provided outstanding experiences in this field. We have wanted to endorse or refute them, and even expand them, taking as a reference for our photogrammetric experimentation some delimited areas of a unique heritage building that includes several of the situations that are considered the most demanding: El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta.

The results achieved have allowed us to value the true scope of photogrammetry in cases such as those analyzed here. We must point out that as it is an academic work, it has been carried out with limited means, which means that its value lies precisely in the economy of means used.

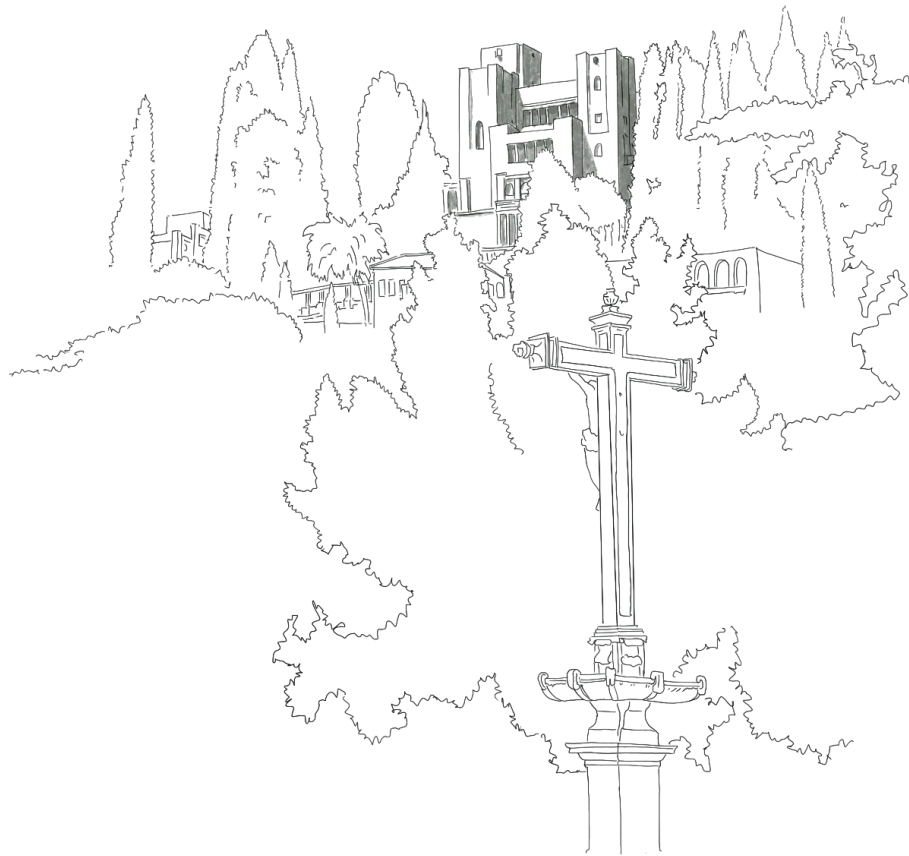
KEY WORDS

Architectural Survey · Heritage · Photogrammetry · Modelling · Structure from Motion

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1. PRESENTACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO



01

Dibujo del Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta, vista desde el Campo del Príncipe, junto a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada.

Introducción

Presentación y Justificación del trabajo

La temática de este trabajo de investigación como trabajo fin de Grado se debe tanto a un interés personal en la materia como a la necesidad encontrada de abordar ciertos aspectos que, por su novedad entendemos aún quedan por contrastar experimentalmente. Se trata, en definitiva de poner en valor las herramientas y técnicas fotogramétricas utilizadas en los actuales levantamientos del Patrimonio Arquitectónico.

El recorrido formativo del grado ha supuesto la adquisición de contenidos, competencias y habilidades relacionadas con diferentes materias relacionadas con la Arquitectura: construcción, proyectos, expresión gráfica, estructuras, instalaciones, urbanismo o historia, por citar las más relevantes. Se entiende que entre todas ellas debe existir la máxima transversalidad, siendo este un valor en sí mismo. No obstante siempre es inevitable adquirir cierta predilección o interés por ámbitos muy concretos dentro de esa transversalidad. Los trabajos realizados en esas materias se abordaban con cierto cariño, dando lo mejor de uno en cada situación.

Todo aquello que de algún modo se encuentra relacionado con el dibujo y la documentación de la arquitectura construida, se ha convertido en una de mis pasiones profesionales; en algo que, por qué no decirlo, también me produce cierto disfrute personal. Esto es lo que me llevó a cursar la asignatura optativa de Levantamiento Arquitectónico, donde entre otros métodos, conocí la fotogrametría, una herramienta que me hizo querer saber más al respecto, debido al gran potencial que encontré en ella, por sus resultados y facilidad de uso, ya que no requiere de ninguna tecnología fuera del alcance de un estudiante de arquitectura. Tan solo una cá-



mara de fotos (el propio teléfono móvil incluso) y saber usar el *software* apropiado debidamente.

A la vez que iba aumentando mi interés en la fotogrametría, me percataba del desconocimiento generalizado sobre dicha herramienta en cuestión. O no se conocía, o se pensaba como una tecnología al alcance de muy pocos. Pues bien, la fotogrametría es todo menos inaccesible. En este trabajo de investigación, veremos hasta donde llega la fotogrametría, aplicandola de una manera asequible, como herramienta de toma de datos sobre el Patrimonio Arquitectónico, para un posterior levantamiento del mismo.

Descubriremos en que situaciones es la herramienta adecuada y cuando no. Se realizará un trabajo práctico, que constará de: trabajo de campo y de taller; poniendo a prueba los procesos fotogramétricos en diferentes situaciones espaciales en el Patrimonio Arquitectónico.

En ocasiones, no se le da la importancia suficiente al Levantamiento Arquitectónico, como ejercicio exento, y no se indaga en las posibilidades que tenemos para hacerlo cada vez más fácil y preciso. Como plantea Juan Pablo Olmos Lorduy, en el prefacio de LESERRI, (2021):

¿Es posible la pervivencia del patrimonio sin una documentación gráfica e iconográfica sólida que respalde su gestión? [...] En muy pocas ocasiones encontramos documentación legal que nos muestre la historia de estos bienes, la iconografía, pinturas o fotografías, tampoco son frecuentes y como decíamos arriba las planimetrías

02

Dibujo de la escultura central del estanque en el Patio de Venus, en El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta.

Introducción

Presentación y Justificación del trabajo

también son escasas de tal manera que la tarea muchas veces empieza de cero [...] Es necesario solucionar esta carencia de documentación representando y fotografian-do los bienes patrimoniales, documentando su historia.

Concienciado en la labor del arquitecto a la hora de docu-mentar el Patrimonio Arquitectónico y la importancia que esto lleva consigo:

- ¿Qué nos aporta la fotogrametría como herramienta para la toma de datos previa a un Levantamiento del Patrimonio Arquitectónico?

- ¿En qué situaciones no es la herramienta adecuada?

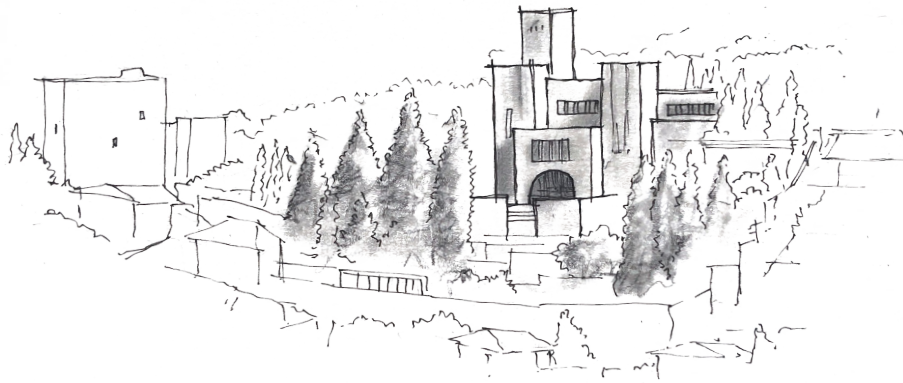
Se parte con la premisa que la fotogrametría es una herra-mienta muy asequible que nos puede proporcionar unos resultados muy fiables y precisos.

Tras dicha premisa, este trabajo busca demostrar hasta donde llega la fotogrametría como herramienta, evaluán-dola en las diferentes situaciones en las que se pondrá a prueba. Para ello, la investigación se realizará de la manera más asequible que con los medios de un estudiante de la Universidad de Granada puede emplear: cámara y pértiga fotográfica (características que serán descritas más adelan-te). Siendo conocedor que la fotogrametría puede llegar a ser aún más sofisticada con otros medios, que también se expondrán a lo largo del trabajo, como puede ser el uso de dron (entre otros), con los inconvenientes que su uso tam-bién trae consigo.

Los trabajos se han realizado sobre zonas muy concretas de un conocido conjunto patrimonial granadino: El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta. Su elección se ha debido al rico muestrario de situaciones arquitectónicas que presenta, suponiendo -per se- un auténtico reto para la implementación de la fotogrametría arquitectónica.

Hay que admitir también, que tras los años en la escuela en el Campo del Príncipe, bajo la mirada del Carmen en la colina del Monte del Mauror, ha sido repetidas veces un edificio puesto como ejemplo en el aula, un referente que ha levantado siempre la curiosidad del estudiante de arquitectura en Granada, ajenos y propios a la ciudad, un edificio presente a lo largo de toda la carrera.

Una parte de mí lo siente como ese actor secundario a lo largo de mi formación. Tras presentarme mis tutores la opción real de poder trabajar en él, me parecía una buena manera de cerrar el círculo y darle ese papel protagonista en mi carrera.



03

Dibujo de una vista aérea del Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta, junto a Torres Bermejas.

2. OBJETIVOS



04

Dibujo en el Callejón Niño del Royo.
Al fondo, el Carmen de la Fundación
Rodríguez-Acosta.

Introducción

Objetivos

2.1. OBJETIVOS GENERALES

Como ya se ha comentado anteriormente, el principal objetivo de este trabajo de investigación ha sido aportar determinadas experiencias de levantamiento que pongan en valor la verdadera utilidad de las técnicas fotogrametrías aplicadas a la documentación del Patrimonio Arquitectónico.

Soy condecorador de un levantamiento exhaustivo realizado no hace tanto tiempo del Carmen, aun no publicado por la Fundación Rodríguez-Acosta. La finalidad del trabajo no es hacer un levantamiento del referente arquitectónico escogido, sino evaluar el uso de la fotogrametría en el Patrimonio Arquitectónico usando como ejemplo áreas concretas del Carmen.

Se ha realizado un trabajo de documentación bibliográfica, un marco teórico, donde se da a conocer que es la fotogrametría, el estado de la cuestión de su uso concreto en el Patrimonio Arquitectónico y también presentar El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta.

En la fundamentación empírica de este trabajo se han expuesto los procesos de trabajo de campo particulares, según el objetivo concreto buscado en cada zona de trabajo, así como el procesado de datos en el taller. Para justificar y poner en cuestión el uso de la fotogrametría aplicada al Levantamiento del Patrimonio Arquitectónico, una vez obtenidos los datos fotogramétricos, se realizará el levantamiento de dichas partes documentadas, cada una con un objetivo específico.



2.2. OBJETIVOS PARTICULARES

Para poder evaluar como la fotogrametría se comporta en diferentes situaciones espaciales y con un fin determinado, las cuatro zonas elegidas dentro del referente patrimonial El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta son: la portada principal que da acceso al edificio en fachada norte, situada en el ‘Callejón Niño del Royo’; la fachada sur, situada en la terraza central del edificio; el Patio de Venus y las Galerías Subterráneas.

2.2.1. PORTADA EN FACHADA NORTE

Numerosos referentes patrimoniales arquitectónicos cuentan con una portada de acceso que da imagen propia al edificio en cuestión. Elemento repetidas veces representado con máximo detalle debido a su belleza compositiva. Se podría entender como un proyecto a parte del edificio, arquitecturas a diferentes escalas.

Nuestro referente patrimonial, también cuenta con una portada de gran interés arquitectónico para esa representación exhaustiva y detallada de arquitecturas a menor escala.

El objetivo es realizar el levantamiento bidimensional de la portada principal – alzado a través del fotoplano – y como ejemplo de la maqueta como elemento de difusión del Patrimonio Arquitectónico, se obtendrá un modelo tridimensional para su posterior impresión 3D. Veremos hasta que detalle podemos representarla fiablemente gracias a la documentación fotogramétrica.

Introducción

Objetivos

2.2.2. FACHADA SUR

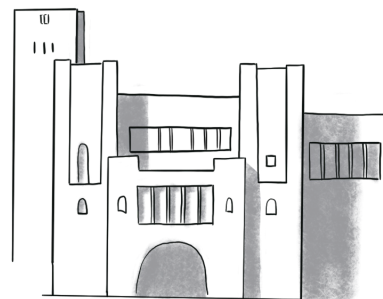
Trabajando en esta zona, lo que se buscará es ver qué sucede con la fotogrametría al documentar un alzado de gran altura desde una distancia bastante considerable, en nuestro caso de 8,50 metros, que es la distancia máxima que te puedes alejar en la terraza central.

El objetivo, es poder realizar el alzado de la fachada completa a través del fotoplano obtenido. Comprobar que la rectificación de alturas es correcta y que el conjunto obtenido es suficiente para poder realizar un alzado de toda una fachada de gran dimensión, aún intuyendo previamente, que el resultado obtenido no sería suficiente si el fin fuese modelar tridimensional y detalladamente todo el conjunto, puesto que las fotografías para toda la superficie no serían suficientes.

2.2.3. PATIO DE VENUS

En esta área se va a trabajar al mismo tiempo en dos zonas concretas, buscando conclusiones más específicas en cada una de ellas.

Con el objetivo de ver que nos aporta la fotogrametría cuando queremos levantar el Patrimonio Arquitectónico para un posible análisis posterior, se busca documentar (bidimensional y volumétricamente) la portada frontal que da acceso a las galerías subterráneas: portada principal, la *logia*, umbral de acceso al zaguán de las galerías – enmarcado por cuatro columnas de orden dórico - y el propio zaguán abovedado.

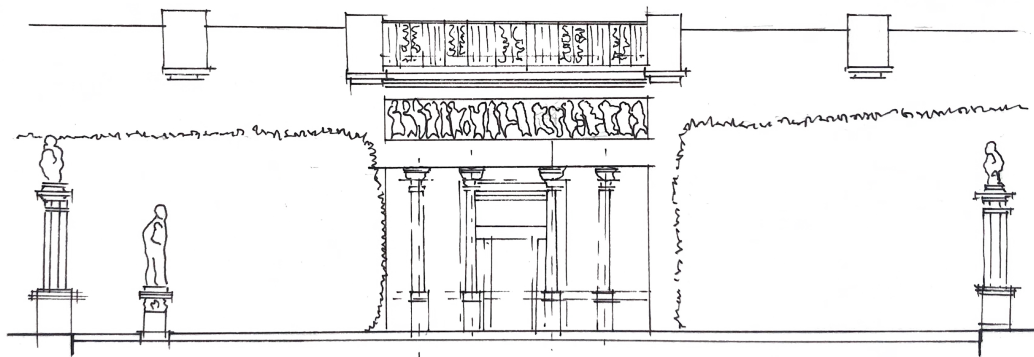


06

Dibujo del alzado correspondiente a la Fachada Sur.

El conjunto está fuertemente influenciado por el brusco cambio lumínico del exterior al interior, cada vez más angosto, característica que será determinante en la toma de datos.

Para poner a prueba a la fotogrametría, se va a experimentar con el lado oeste del estanque, el conjunto de las tres estatuas, sobre la lámina de agua. Se realizarán dos métodos similares pero diferentes para la formación del archivo tridimensional, comprobando cómo se comporta el sistema con elementos escultóricos exentos, donde la toma de datos viene limitada por el espacio que los rodea y el estanque, ya que produce fuertes reflejos. Quiero ver qué sucede con la fotogrametría en un espacio con unas condiciones tan concretas y a *priori* problemáticas para su documentación fotografica.



07

Dibujo del conjunto de la Portada que da acceso a las Galerías subterráneas por el Patio de Venus y estanque y conjunto escultórico.

Introducción

Presentación y Justificación del trabajo

2.2.4. GALERÍAS SUBTERRÁNEAS

Nuestro maravilloso referente patrimonial nos ofrece un sinfín de riquezas espaciales. Bajo tierra esconde unas galerías excavadas, donde la iluminación es escasa y artificial y el espacio es angosto, pero no por ello falto de riqueza arquitectónica. Es por esto, que no se pueden perder la oportunidad para contrastar también aquí, con estos condicionantes tan específicos y tan problemáticos para la toma de datos.

Se va a trabajar en un tramo acotado de las Galerías, donde la continuada escalera que te va haciendo descender rápidamente se detiene en un espacio abovedado de planta hexagonal con dos ábsides de misma planta, también abovedados pero de menor tamaño, un espacio digno de documentar y dar a conocer. Es por ello, que se documentará el área pensando en obtener una malla texturizada final del espacio tal, que se puedan sacar directamente de esta unas infografía explicativa del referente arquitectónico en cuestión, como ejemplo de la difusión del patrimonio.



3. METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS EMPLEADAS



09

Ilustraciones de diferentes herramientas empleadas.

De arriba abajo: accesorio trípode, pértiga y cámara en mano.

Introducción

Metodología y Herramientas empleadas

Para alcanzar los objetivos propuestos se ha seguido, con carácter general, el siguiente flujo de trabajo:

1. En un primer lugar se han identificado aquellos fundamentos de la fotogrametría que, *a priori*, podrían condicionar su uso en la documentación del Patrimonio Arquitectónico. Para ello se han consultado las publicaciones que se han considerado más relevantes en la materia. Información que ha sido condicionante para determinar los casos de estudio en el presente trabajo de investigación.
2. Trabajo de campo: establecidos los casos de estudio, se procedió a efectuar la planificación de las diferentes tomas de imágenes fotográficas a llevar a cabo en las diferentes campañas que requería esta fase del trabajo. Campañas que obviamente necesitaron de los permisos necesarios por parte de las personas responsables del importante edificio patrimonial que tomamos como referente. Como es lógico, sin una planificación pormenorizada hubiera sido inviable acceder al edificio para realizar el trabajo.
3. Trabajo de taller: consistió básicamente en procesar las imágenes obtenidas mediante un *software* específico: *Agisoft Metashape*, para la obtención de las diferentes nubes de puntos, así como sus mallas texturizadas. Nuevamente hubo que planificar en cada caso el flujo de trabajo a seguir y los parámetros a considerar, dependiendo del objetivo buscado y las características del espacio. En determinados casos, se ha trabajado con los archivos obtenidos, obteniendo planimetrías a diferentes

escalas, modelos tridimensionales, infografías e incluso una maqueta impresa tridimensionalmente en resina.

4. Discusión de resultados y conclusiones: los resultados obtenidos en las fases anteriores nos ha permitido alcanzar ciertas conclusiones que, por supuesto, desde este momento sometemos a la consideración de la comunidad científica.



Introducción

Presentación y Justificación del trabajo

3.1. HERRAMIENTAS EMPLEADAS

Para el trabajo de toma de datos fotográficos se ha empleado material aportado por la Universidad de Granada entre otros.

Cámara compacta digital modelo *Panasonic Lumix TZ 100*. Como algunas de las tomas fotográficas se realizan a grandes alturas mediante pértiga, la cámara debía de ser compacta (por su peso) y tener la opción de control remoto. (11)

La pértiga utilizada para las fotografías en altura, ha sido el modelo *Photomast MK2* con un alcance máximo de 10 metros de altura, un peso de 4,2 kg y una base de goma flexible. (12)

También se ha hecho uso, de un trípode (no aportado por la Universidad), modelo *NGTR002T*, como apoyo en aquellas zonas angostas a documentar, al no ser útil la pértiga, como en las galerías subterráneas. (13)

Como después veremos más extendidamente, la fotogrametría basada en *Structure from Motion (SfM)* genera un modelo que necesita ser escalado y orientado manualmente, por ello se deben de tomar algunas medidas como referencia. Para esto, se ha hecho uso de un distanciómetro láser, en este caso: modelo *Holex 60mtr láser distance measure*.

La restitución fotogramétrica se ha realizado usando el software basado en *SfM*, *Agisoft Metashape*. Trabajando con el ordenador de escritorio personal, cuyas principales características son:



11

Cámara compacta digital *Panasonic Lumix TZ 100*.

- Procesador *Micro Intel 1200 Core I7-10700 2.9 GHz*.
- Memoria *CRUCIAL DDR4 32GB 3200Mhz PC3200*.
- Gráfica *SVGA GEFORCE ASUS ROG RTX 3060Ti OC 8GB G6*.

Para los trabajos de levantamiento tras la restitución fotogramétrica, se han empleado los *software Rhinoceros7 y AutoCAD 2020*.



12

Pértiga *Photomast MK2*.

Para la impresión 3D, se ha empleado la impresora del *SMLAB (Survey and Modelling Lab of Architectural Heritage)* del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la ingeniería de la Universidad de Granada. Cuyo sistema es *ANYCUBIC Photon Mono X* que emplea una tecnología *SLA* basado en *LCD*, imprimiendo un material de resina *UV* de 405 nm.



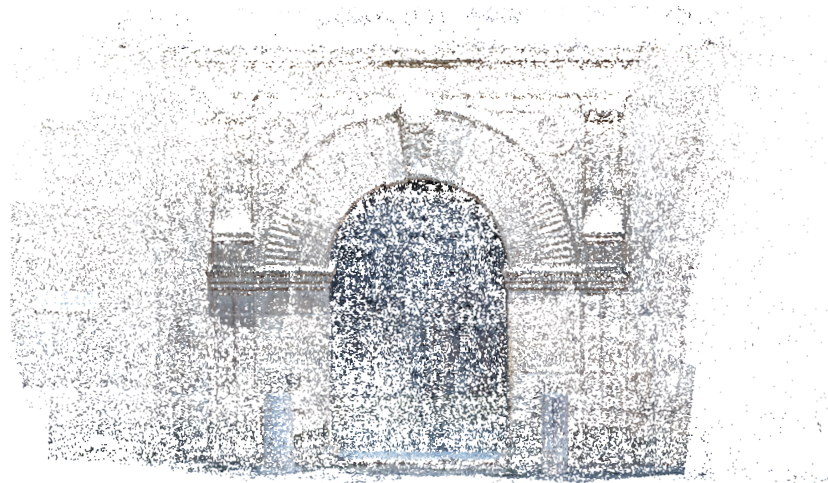
13

Accesorio trípode empleado.
Modelo *NGTR002T*.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

4. PROCEDIMIENTOS FOTOGRAMÉTRICOS



14

Nube de puntos de la Portada que da acceso al Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta, obtenida a partir de fotogrametría.

4.1. DEFINICIÓN

Según la REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (s.f.) la fotogrametría queda definida como: “*Procedimiento para obtener planos de grandes extensiones de terreno por medio de fotografías aéreas.*” (def. 1). Aparece como única definición posible, y es cierta, pero la fotogrametría va mucho más allá de su aplicación topográfica mediante una toma de datos aéreos. La fotogrametría es una herramienta que se puede aplicar en múltiples campos: topografía, urbanismo, arqueología, arquitectura...

Si atendemos a la etimología de la palabra, esta se compone de tres raíces griegas ‘*Photos* = Luz’ ‘*Gramma* = Escritura o dibujo’ y ‘*Metron* = Medida’ (CAREAGA, 2022). Lo que podemos traducir por: La realidad convertida en grafismo, después de haber sido medida a través de la luz, la fotografía.

Los avances tecnológicos en los últimos años han hecho evolucionar mucho la técnica, y con ella la forma de entenderla y por tanto definirla. En 2004, cuando la fotogrametría aún era una herramienta de difícil uso y acceso, para ALMAGRO, A. era entendida como una herramienta de medición, como lo puede ser la cinta métrica, pero más sofisticada y precisa. (p. 83). ALMAGRO, A., (2004) también dice:

La fotogrametría es un sistema de medición basado en el uso de fotografías. Como vamos a ver, se apoya en los mismos principios que los sistemas topográficos, es decir, determinar direcciones en el espacio y definir

mediante ellas la posición de determinados elementos de un objeto o edificio. En lugar de medir esas direcciones mediante un teodolito, se utilizan perspectivas obtenidas mediante el principio de la cámara oscura, es decir, fotografías. [...] Podemos por tanto definir la fotogrametría como aquella técnica que permite medir objetos, edificios o la misma superficie terrestre, a partir de imágenes perspectivas obtenidas por procedimientos fotográficos. (p. 53)

Con el paso del tiempo, y la digitalización de las cámaras, la fotogrametría evoluciona a una herramienta capaz de hacer-te trabajar con el objeto real directamente en tu ordenador. JUAN GUTIÉRREZ et al. (2020) describen la fotogrametría como el traspaso de la realidad al ordenador mediante la formación de una nube de puntos. De la realidad al referente digital a través de la fotogrametría:

Mediante el empleo de la tecnología contemporánea los arquitectos somos capaces de establecer una nueva base de datos tridimensional (a veces llamada gemelo digital). Ya sea con la finalidad de obtener los dibujos estáticos y bidimensionales de siempre o no [...] Es en este contexto donde surge la base de datos fotogramétrica, que comienza con las fotografías, pero se sintetiza en la nube de puntos como nuevo modelo sobre el que elaborar conocimiento y dibujar. [...] la atención se desplaza

Marco Teórico

Procedimientos fotogramétricos

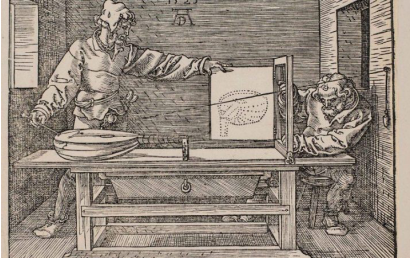
de la realidad a esta nueva base de datos [...] que actúa como un nuevo referente del dibujo. [...] El significante pasa de ser el mundo real a evidenciarse como su reflejo digital. (p. 43)

Apoyándonos en lo que la propia palabra nos cuenta -su etimología- la definición de Antonio Almagro en 2004, lo que otros investigadores cuentan de la fotogrametría en los últimos tiempos y después de mi propia experiencia, podríamos abstraer que: La fotogrametría es una herramienta de medición que a través de fotografías secuenciales convierte el objeto real en una base de datos tridimensional.

4.2. FUNDAMENTOS Y PRINCIPIOS BÁSICOS

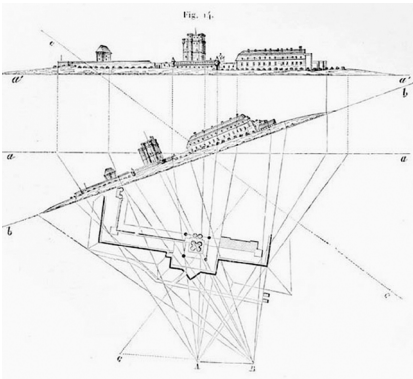
En la época del Renacimiento, se comenzó a estudiar las leyes de la perspectiva, en manos de Leonardo da Vinci o Alberto Durero (15), leyes que comenzarían a fundamentar algunos de los principios básicos de la fotogrametría actual (ALMAGRO, A., 2004, p. 54). Un largo camino que va desde el Renacimiento, pasando por Aimé Laussedat a mitad del s.XIX, por Antonio Almagro a principios del s.XXI (entre otros) y hasta la actualidad con el desarrollo del algoritmo *Structure from Motion*.

Laussedat está considerado como el precursor de los principios fotogramétricos, era un ingeniero que comenzó a usar técnicas cartográficas de la época, como la plancheta, que consistía en intersecar dos puntos del terreno tomados desde



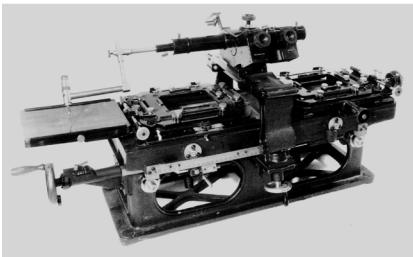
15

Grabado de Alberto Durero durante sus investigaciones sobre la perspectiva.
DEL VANDO BLANCO, C. (2016)



16

Estudios fotogramétricos de Laussedat.
WOLF, H. (2017)



17

Estereocomparador de Pulfrich.
ALMAGRO, A., 2004. (p.113)

dos estaciones para obtener sus coordenadas (16). (ALONSO RODRÍGUEZ, M. Á. et al., 2010, p. 35). Después, influenciado por el ya nombrado Laussedat, Albrecht Meydenbauer, quien puso el nombre de 'fotogrametría' a esta técnica, en 1885 experimentó con la fotografía para obtener las medidas de los objetos fotografiados. Ambos utilizaban el mismo método de las intersecciones, un procedimiento gráfico y laborioso del que se necesitaba conocer la posición de la cámara y la dirección del eje óptico de cada estación. Este método se estuvo empleando hasta la Segunda Guerra Mundial. (ALMAGRO, A., 2004, p. 54).

A principios del siglo XX con el invento de Pulfrich, el estereocomparador (17), que fue creado con fines militares para mediciones topográficas, propicia un desarrollo de la estereofotogrametría a lo largo del siglo pasado. (ALONSO RODRÍGUEZ, M. Á. et al., 2010, p. 36).

4.2.1. ESTEREOFOTOGRAMETRÍA

Hasta principios de siglo XXI se ha seguido usando una fotogrametría basada en los principios estereoscópicos.

ALMAGRO, A., (2004):

La observación estereoscópica es un fenómeno natural al hombre que le permite apreciar el relieve de las cosas merced a las diferencias de las imágenes que se generan en cada uno de los ojos. El cerebro se encarga de analizar de manera automática esas diferencias y

Marco Teórico

Procedimientos fotogramétricos

determinar la mayor o menor lejanía de los objetos observados. (pp. 54 – 55)

La estereofotogrametría utiliza pares de fotografías tomadas con ejes casi paralelos para poder observar las fotografías estereoscópicamente, quiere decir: observarlas a la vez para que tu cerebro forme una sola imagen. En palabras de ALMAGRO, A., (2004):

Con una sola imagen, es decir, con un sólo haz de direcciones, no podremos determinar la posición en el espacio de ningún punto, salvo que conozcamos algún otro dato, como puede ser su pertenencia a un mismo plano perfectamente definido en su situación y orientación. Pero si utilizamos dos perspectivas, o dos fotografías, tomadas desde dos puntos distintos, tendremos datos suficientes para poder determinar la posición espacial de todos aquellos puntos que sean visibles en las dos imágenes. (pp. 53 – 54)

Con el uso de unos instrumentos llamados estereóscopos se podían observar las dos imágenes tomadas casi paralelas superponiéndose una con otra y formando la sensación de relieve. Observándolo así se podía obtener fácilmente los puntos homólogos. (ALMAGRO, A., 2004, p. 55). (18)

4.2.2. RECTIFICACIÓN DE IMÁGENES

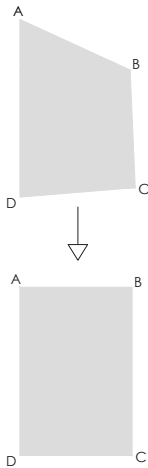
En el proceso de levantamiento del patrimonio, se busca



18

Uso de los estereóscopos.

ALMAGRO, A., 2004. (p. 116)



19

Rectificación del plano con una sola imagen. Conocidas sus coordenadas a través de su deformación.

siempre la obtención del fotoplano. Ver en verdadera magnitud un elemento generalmente plano: una fachada, un pavimento, un techo... La estereofotogrametría precisaba de dos imágenes para obtener la rectificación, de una manera compleja se obtenía un resultado preciso, debido a la facilidad de encontrar los puntos homólogos entre ellas. Otra forma de hacerlo era a partir de una sola imagen. Una metodología que aparece con el desarrollo del CAD a principios del s.XXI, y que hacía de una forma más simple (pero menos precisa) el trabajo de la fotogrametría estereoscópica. Los levantamientos vectoriales en plano. (19)

ALMAGRO, A., (2004):

Hoy en día, fotografías incluso con fuertes ángulos de inclinación se pueden rectificar mediante tratamiento digital de imágenes. Las imágenes rectificadas pueden imprimirse con una impresora ráster o servir de base para obtener dibujos vectoriales digitalizando en la propia pantalla mediante un programa de CAD superpuesto. Este sistema es válido y ventajoso para el levantamiento de fachadas de calles a escalas no muy grandes, en las que las variaciones de escala de los elementos no situados en el plano ajustado no reviste ninguna trascendencia. Los elementos planos abundan en la arquitectura (fachadas y pavimentos) y las imágenes rectificadas constituyen un medio sencillo y rápido para su documentación. (p. 62)

Marco Teórico

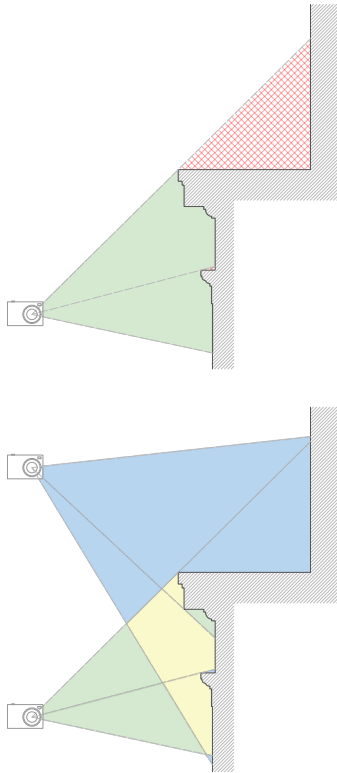
Procedimientos fotogramétricos

Estos levantamientos rectificando una sola imagen fueron posibles gracias a la creación de *Homograf* en el año 2000 dentro de *AutoCAD* o de *ASRix* en 2003. (ALMAGRO, A., 2004, p. 77). *ASRix* sigue funcionando en la actualidad, junto a otros programas como *Xyrectificar (Photometrix)*. Conociendo las coordenadas de ciertos puntos fotografiados, se puede rectificar para obtener la verdadera magnitud, el fotoplano.

4.2.3. IMÁGENES CRUZADAS

Las imágenes digitales abrían un nuevo horizonte al desarrollo de la fotogrametría. La transformación de una imagen en información matemática mediante píxeles, significaba que los ordenadores no leían dichas imágenes como tal, sino como un almacenamiento numérico de donde se deduce, que el ordenador podría encontrar píxeles homólogos entre dos o más imágenes de forma automática. Esto suponía un cambio revolucionario que evidenciaba el salto de los fundamentos estereoscópicos hacia una nueva tecnología fotogramétrica digital. (ALMAGRO, A., 2004, p. 74).

La metodología basada en la estereofotogrametría se evidencia como un proceso complejo y de difícil aprendizaje. En contraposición de tener que usar dos imágenes sensiblemente paralelas, la fotogrametría digital exige una multitud de imágenes cruzadas donde cuanto mayor información fotografiada coincida entre esas imágenes mejor se podría restituir el elemento fotografiado. Esto nos aporta una mayor versatilidad y facilidad en el proceso de toma de datos. ALONSO RODRÍGUEZ, M.Á. et al., (2010):



Es sabido que la exigencia de emplear pares estereoscópicos en la fotogrametría tradicional ha supuesto importantes limitaciones [...] con la imposibilidad material de obtener pares de una determinada fachada o portada, [...] Empleando fotos cruzadas esta limitación desaparece y hace al sistema versátil, nada rígido, sin más limitaciones que las de la propia fotografía, y por tanto capaz de adaptarse con facilidad a las particulares condiciones de un modelo arquitectónico. No resulta equivocado decir que lo que podemos fotografiar lo podemos medir o, con más precisión, si lo podemos fotografiar doblemente, de manera que aparezcan al menos en dos fotografías, lo podemos medir. (p. 36)

A este sistema, que se contrapone en sus fundamentos a la estereofotogrametría se le empezó a conocer por fotogrametría de fotos cruzadas o fotogrametría convergente. En el proceso de fotografía del elemento se busca fotografiarlo en su totalidad, evitando sombras (partes ocultas) debido a zonas no visibles. Por ejemplo, fotografiando un plano con relieves como pueden ser cornisas, este elemento será un obstáculo desde ciertos puntos de vista, generando sombras tras él. Por eso se busca que dicha sombra, sea fotografiada en la siguiente toma. (20)

ALONSO RODRÍGUEZ, M.Á. et al., (2010):

Mediante fotos cruzadas trataremos de registrar el modelo fotográficamente en su totalidad, evitando

Marco Teórico

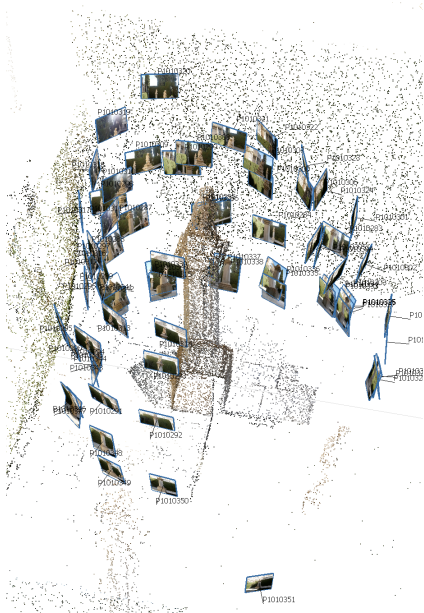
Procedimientos fotogramétricos

las sombras, las ocultaciones que se producen en los edificios. Habitualmente llamamos sombras a lo que son ocultaciones, zonas ocultas a la visión debido a la existencia de un obstáculo y que impiden o dificultan ver el objeto en su totalidad. (p. 36)

Al usar una gran cantidad de fotografías para documentar el elemento en su totalidad, este sistema se dice que es más ‘robusto’ que el de fotos paralelas (estereofotogrametría), habiendo así menor error en la toma de datos. Dentro de la fotogrametría de imágenes cruzadas, podemos determinar diferentes grados de robustez según el área documentada que podamos alcanzar. (ALONSO RODRÍGUEZ, M. Á. et al., 2010, p. 37). Podemos decir que la superficie en sombra es inversa a la robustez de la toma fotográfica, aun sabiendo esto, muchas veces por la condición de toma de datos (ya sea por el entorno, por el propio elemento u otras limitaciones) siempre pueden surgir zonas de sombra, es una condición de la fotogrametría con la que debemos contar.

4.2.4. *STRUCTURE FROM MOTION*

El surgimiento de esa fotogrametría digital, de imágenes cruzadas o convergente culmina con la creación del algoritmo *Structure from Motion*, conocido por sus siglas *SfM*. Aquello que en 2004 contaba ALMAGRO, A. de la conversión de las fotos digitales a simples píxeles contenedores de información matemática, llega a su culmen con este sistema. Partiendo de esta base, *software* como *Agisoft Photoscan* en sus inicios, y ahora con el nombre de *Agisoft Metashape*, dejamos atrás



21

Alineación de imágenes automática a partir de algoritmos *Structure from Motion*.

Localización de imágenes y creación de nube de puntos del elemento fotografiado.

la restitución de imágenes para generar directamente un modelo 3D de nube de puntos del modelo real fotografiado, con la posibilidad implícita, de obtener automáticamente la vista deseada del modelo generado mediante los programas visores de elementos 3D, ya sean ortofotografías, perspectivas, secciones... (21)

Gracias a esto la fotogrametría se convierte en una herramienta altamente precisa y muy asequible, cada vez con menos limitaciones.

A cerca de *Agisoft Metashape*, Riccardo Florio explica así en LESERRI, UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL DE MONTERÍA, COLOMBIA & UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO, ITALIA (Eds.), (2021), sobre los levantamientos fotogramétricos en el convento de *Donnaròmita* en Nápoles:

El software utilizado fue el Agisoft Photoscan, reemplazado durante los trabajos por Agisoft Metashape. [...] que extraen puntos notables o tie points, homólogos en diferentes fotogramas e identifican los parámetros de orientación internos y externos. Los descriptores de cada imagen se utilizan para identificar coincidencias entre pares de imágenes. Mediante la triangulación, las correspondencia permiten determinar: la posición 3D de los tie points, la posición tridimensional de la cámara (posición del centro de toma con respecto al sistema de referencia, orientación externa) y la geometría de la cámara (distancia focal y distorsión del lente, orientación interna). (pp. 25 – 26)

Marco Teórico

Procedimientos fotogramétricos

Este *software* es lo que hace de la fotogrametría una herramienta altamente asequible, gracias a su facilidad de uso. Cualquiera podría crear un modelo 3D a partir de fotografías con unas breves nociones. Un proceso automatizado que se aplica indistintamente de la dificultad del elemento trabajado: alineación de fotos, creación de nube de puntos, densificación de la misma, creación de malla y generar textura. En ese orden (22). Con estos pasos, (si la toma de datos fotogramétrica está debidamente ejecutada) el programa genera el modelo 3D en forma de malla texturizada.

Francesco Severino, en su estudio del 'Jazzo' a través de procesos fotogramétricos aéreos, recopilado en LESERRI, UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL DE MONTERÍA, COLOMBIA & UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO, ITALIA (Eds.), (2021), opina:

La tecnología de fotogrametría digital se traduce en Metashape en un sistema de procesamiento automatizado inteligente, que puede ser utilizado tanto por un neófito como por especialistas, que podrán adaptar el flujo de trabajo a tareas específicas y diferentes tipos de datos. (p. 211)

Este proceso se puede complicar, si el elemento a documentar es de una extensión considerable, o presenta otro tipo de dificultad notable, la toma de datos fotográfica se aconseja realizar por grupos separados. Siempre y cuando existan fotografías que se solapen entre los diferentes conjuntos. Estos grupos se alinean por separado en el *software* de



Agisoft bajo el nombre de *chunks*, una vez alineados y creada la nube de puntos de los diferentes *chunks*, ya se pueden alinear (*Align Chunks*) y fusionar (*Merge Chunks*), añadiendo de forma manual, marcadores entre fotos convergentes de los diferentes *chunks*. El modelo obtenido se puede exportar a cualquier otro programa de modelado, *AutoCAD*, *3DsMax*, *SketchUp*, *Rhinoceros*... en los que podrás ubicar y escalar el modelo conociendo una medida real, aun que también se puede hacer esto de exportar el archivo, en el propio *Agisoft Metashape*.

Agisoft Metashape es un *software* que utilizando algoritmos *SfM* genera modelos tridimensionales, pasando de la nube de puntos a la malla y su textura, a partir de un número de fotografías con un alto grado de solapamiento entre ellas.

4.2.5. APORTACIONES TECNOLÓGICAS

La fotogrametría sigue evolucionando, buscando simplificar el proceso de toma de datos y aumentar su precisión. El cambio de la cinta métrica y apunte a mano alzada, a la toma de datos solo fotografiando el elemento, ya fue un gran salto en cuanto a economizar el trabajo de campo y aumentar en precisión los resultados.

Creaciones como el dron o las fotografías esféricas, aportan nuevas soluciones a los trabajos de campo fotogramétricos.

Fotogrametría aérea. El dron:

Dependiendo la escala del elemento a documentar será suficiente tomar las fotografías con cámara en mano, como por

Marco Teórico

Procedimientos fotogramétricos

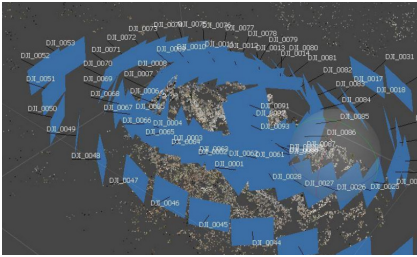
ejemplo a la hora de documentar unos restos arqueológicos de uso doméstico; pero cuando la escala va aumentando la cámara en mano no es suficiente, si estamos documentando una fachada de gran altura nos tendremos que ayudar de una pértiga fotográfica para generar el menor número de sombras posible, pero si lo que queremos es documentar una torre, unas cubiertas o una extensa topografía, existe la posibilidad de combinar los vuelos de dron y la tecnología fotogramétrica, a esto se conoce como fotogrametría aérea.

La fotogrametría aérea está destinada, en su mayor parte, al campo de mapeos de territorio y a la realización de cartografías. Al levantamiento fotogramétrico topográfico.

El dron trae consigo algunas limitaciones. La fotogrametría aérea no es algo accesible. Contar con un dron, con alguien experimentado en su pilotaje, y con los permisos necesarios según qué zonas, son condicionantes que no todo el mundo puede abordar.

Capturas fotográficas esféricas:

Un trabajo de investigación en el Departamento de Ingeniería Civil de la *Università degli Studi di Salerno*, pone a prueba la fotogrametría basada en tomas de datos mediante fotografías panorámicas esféricas. Estos dispositivos toman multitud de fotografías panorámicas, lo que hace pensar que esto puede acortar notablemente el tiempo de los trabajos de campo fotogramétricos, sin perder éxito en la precisión del resultado obtenido. LESERRI, UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL DE MONTERÍA, COLOMBIA & UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO, ITALIA (Eds.), (2021):



Estamos siendo testigos del emerger de un específico paradigma fotogramétrico, basado en aportes fotográficos particulares, las panorámicas esféricas. Se trata de aquellas imágenes obtenidas como una representación cartográfica plana de una esfera en la que se han proyectado imágenes adquiridas desde el mismo punto de captura y parcialmente superpuestas. (p. 42)

4.3. TÉCNICAS ALTERNATIVAS

No podemos hablar de la fotogrametría sin hacer mención de la otra técnica existente basada en el escaneo láser (24). Los escáneres láser producen un documento tridimensional de nube de puntos del elemento escaneado, al igual que la fotogrametría, solo que de una manera más inmediata. Pero existen grandes diferencias entre una técnica y otra.

La nube de puntos generada por el escáner láser puede estar escalada y georreferenciada directamente. En la fotogrametría, somos nosotros quien orientaba la nube de puntos y escalaba conocida una distancia real del elemento a documentar. *“A diferencia del escáner láser que posee un sistema interno de nivelación, que permite de procesar datos basados en este sistema de coordenadas, el software Agisoft Photoscan no tiene la posibilidad de realizar la nivelación automática.”* (LESERRI, UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL DE MONTERÍA, COLOMBIA & UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO, ITALIA (Eds.), 2021, p. 206).

23

Documentación fotogramétrica topográfica y arqueológica mediante el uso del dron.

El *Castell de la Vall Perputxent*. Trabajo realizado por Joan Vidal Mallén, 2020.

VIDAL, J., 2020. (pp.73-74)

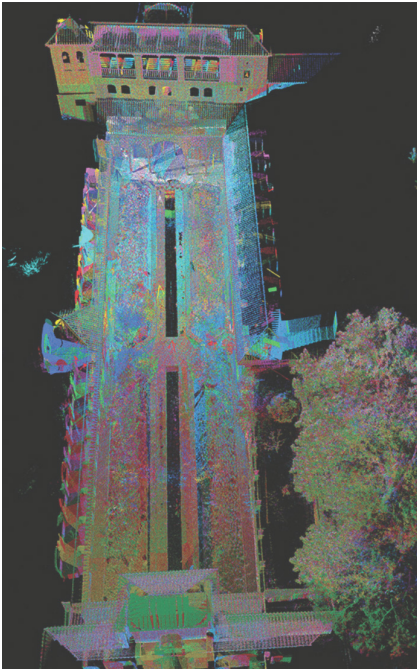
Marco Teórico

Procedimientos fotogramétricos

La nube de puntos obtenida por escáner láser es más precisa que por fotogrametría y, la toma de datos es notablemente más rápida que la necesaria en fotogrametría. El problema de esta tecnología es su elevado coste, lo que limita su uso a un grupo reducido de empresas y equipos de investigación. (ESCLAPÉS, J., TEJERINA, D., ESQUEMBRE, M. A., BOLUFER, J., 2013, p. 214).

Una técnica no excluye a la otra. La fotogrametría se puede combinar con este tipo de tecnologías. El estudio de técnicas de levantamiento para una vivienda Mudéjar, que realizó el *Politecnico di Bari*, combina dichas técnicas para la documentación de esta vivienda. LESERRI, UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL DE MONTERÍA, COLOMBIA & UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO, ITALIA (Eds.). (2021):

El futuro de las ciencias del Levantamiento en el campo de los Bienes Culturales reside probablemente en un enfoque multi-técnico. [...]. Lo que parece fundamental subrayar es la posibilidad de que un enfoque integrado entre las diferentes técnicas pueda aportar una mayor precisión y legibilidad de las representaciones. (p. 206)



4.4. RESUMEN

- La fotogrametría es una herramienta de medición que convierte el elemento documentado por fotografías en una nube de puntos en el espacio.
- Las fotografías tomadas deben ser convergentes. Esto quiere decir, que la información en ellas debe solaparse.
- La información tridimensional generada, la nube de puntos, debe ser escalada y orientada. Pues la fotogrametría por sí sola no es capaz de hacerlo.
- El archivo de nube de puntos se puede mallar y texturizar. Lo que nos proporciona la posibilidad de obtener fotoplanos, secciones y cualquier vista del objeto. Traslamos la realidad al ordenador.
- Los avances tecnológicos han hecho de la fotogrametría una técnica muy asequible y de fácil aplicación.
- Es una tecnología que permite ser usada desde la forma más rudimentaria hasta lo más sofisticado. Desde su propio móvil, hasta ser compatible con escáneres láser y drones.

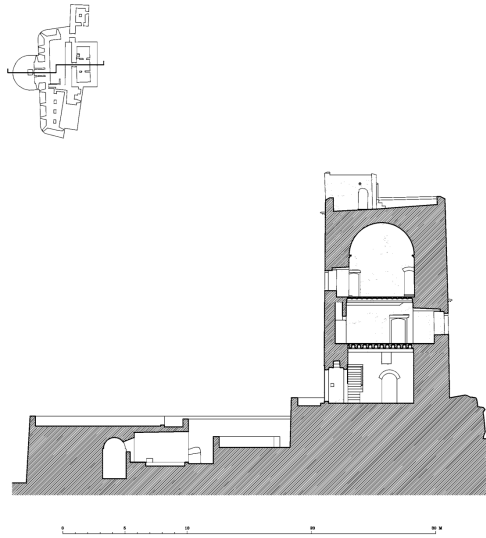
24

Ejemplo de documentación del Patrimonio mediante el uso del escáner láser. Estamos viendo la nube de puntos obtenida en el Patio del Agua, en el Generalife. Cada estación del escáner láser está marcada con un color diferente.

Trabajo realizado por Pavia University Press y Universidad de Granada, en el Generalife, Granada, 2017.

PARRINELLO, S., GÓMEZ-BLANCO, A., & PICCHIO, F. (2017). (p.86)

5. FOTOGRAMETRÍA APLICADA EN EL LEVANTAMIENTO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO. ESTADO DE LA CUESTIÓN



25

Levantamiento Arquitectónico del Patrimonio:
Sección transversal de Torres Bermejas.

ALMAGRO, A., (2004). (p.232)

Marco Teórico

Fotogrametría aplicada al Patrimonio Arquitectónico. Estado de la cuestión.

Una vez que hemos conocido en que consiste la fotogrametría como herramienta de toma de datos y visto como su versatilidad le permite ser útil en diferentes disciplinas. Principalmente su uso está destinado a la arqueología y topografía, pero también, cada vez más, se usa como herramienta de documentación del Patrimonio Arquitectónico, para su posterior levantamiento.

Debemos entender qué es un Levantamiento Arquitectónico y cuales pueden ser su finalidad.

El término ‘Levantamiento’, no se entiende igual en todos los sectores de la población. Adquiere un significado propio dentro de los campos de ingeniería, arquitectura o arqueología, entre otras. Aquellas disciplinas que se apoyan fuertemente en la documentación gráfica.

Un Levantamiento Arquitectónico consiste en documentar gráficamente, y con rigor métrico, el estado actual (del momento en el que se realiza el ejercicio) del referente arquitectónico de estudio. Puede ser desde documentar la planimetría básica del bien arquitectónico, como indagar en su sistema constructivo, patologías, diferentes procedimientos analíticos y/u otras diversas operaciones con el fin de conocer el estado del bien arquitectónico. Así lo entiende ALMAGRO, A. en 2004:

[...] se debe entender por levantamiento arquitectónico la forma primigenia de conocimiento y por lo tanto el conjunto de operaciones, de medidas y de análisis necesarios para comprender y documentar el bien archi-



tectónico en su configuración completa, referida incluso al contexto urbano y territorial, en sus características dimensionales y métricas, en su complejidad histórica, en sus características estructurales y constructivas, así como en las formales y funcionales. (p. 17)

Muchas veces se piensa que este ejercicio es tan solo un trabajo previo a la restauración o rehabilitación de un bien patrimonial. Si el Patrimonio Arquitectónico está adecuadamente documentado y se cuenta con información de calidad sobre él, aumenta su valor y permite su gestión y difusión.

“Promesa de duración, de permanencia -contra el pasaje del tiempo-. He aquí lo que las imágenes nos ofrecen” (BREA, 2010, p. 09).

El Levantamiento Arquitectónico no tiene por que ser comprendido como un ejercicio previo a algo, puede concebirse como un ejercicio único, destinado al cuidado y protección de nuestro Patrimonio, en este caso, concretamente al arquitectónico (ALMAGRO, A., 2004, p. 15).

Pues es conocido, cada vez más, que gran parte de nuestro Patrimonio, en todo el mundo, sufre de abandono y destrucción, el primer paso para cambiar esto, es darle valor al ejercicio del Levantamiento Arquitectónico, conociendo la importancia que tiene para nuestro Patrimonio, único e insustituible. (BENAVIDES LÓPEZ, J.A., 2017):

Uno de los aspectos indispensables para la catalogación, protección o intervención en el patrimonio

26

Levantamiento Arquitectónico del Patrimonio a través de la fotogrametría: Nubes de puntos en la Torre de la Romilla.

Trabajo realizado por J. A. Benavides López
BENAVIDES LÓPEZ, J.A., 2017. (p.165)

Marco Teórico

Fotogrametría aplicada al Patrimonio Arquitectónico. Estado de la cuestión.

arquitectónico consiste en obtener una documentación gráfica que refleje, de forma precisa, el estado actual del bien patrimonial y que mediante un detallado estudio nos permita comprender, no sólo su materialidad sino también, su historia y su significado. (p. 02)

Históricamente se han realizado planimetrías de la arquitectura construida de resultados artísticos y visuales más que destacables, de una sorprendente definición y detalle. Cuando las metodologías para la obtención de los datos, previos a los trabajos de representación, no eran las más sofisticadas. Esto evidenciaba un resultado lleno de belleza, desde el punto de vista visual, pero poco fiable en cuanto a la información arquitectónica (escala, proporciones, dimensiones...).

Las nuevas tecnologías nos proporcionan una serie de herramientas que nos hacen más fácil acercarnos a la realidad de la arquitectura representada. (SÁNCHEZ RIBERA et al., 2016): *“Trabajos, por tanto, enfocados no tanto a la obtención de ‘dibujos bonitos’, como a la realización de representaciones eficaces para la comprensión y explicación de los organismos arquitectónicos representados, sus estructuras y sistemas constructivos.”* (1118).

Es por ello, que la disciplina del Levantamiento Arquitectónico, en busca de mejorar la precisión técnica en la representación, se encuentra en su camino con nuevos métodos de toma de datos surgidos de los nuevos avances tecnológicos. Después de haber conocido anteriormente las



características y potencial de la fotogrametría, podemos llegar a la conclusión, que es una herramienta rigurosa y eficaz para la toma de datos de la realidad ya construida, y que no es una herramienta exclusiva de topógrafos.

Esta idea se apoya al mismo tiempo en algunas investigaciones ya realizadas donde, el uso de la fotogrametría en el campo de la arquitectura está presente, ya sea de manera única o acompañada con otras tecnologías más sofisticadas como el escáner láser.

En una recopilación de trabajos de levantamientos fotogramétricos, por la *Universitat Politècnica de València*, para la revista EGE (Expresión Gráfica en la Edificación) se concluye: *“La fotogrametría se evidencia como una de las técnicas más interesantes de las que disponemos hoy en día para levantar el patrimonio edificado. No sólo por su accesibilidad, sino por la rapidez y precisión de sus resultados.”* (JUAN GUTIÉRREZ et al., 2020, p. 46).

Ya ha sido mencionando anteriormente como frente a la fotogrametría aparecía una alternativa cuya toma de datos era más rápida y mucho más precisa: el escáner láser, con el inconveniente, que hacía tener presente los procedimientos fotogramétricos, de su alto coste que la hacía poco accesible. Esto no quiere decir que la fotogrametría aplicada al Patrimonio Arquitectónico, por muy accesible que sea, no nos produzca una documentación fiable. Por ejemplo, todavía con una fotogrametría no tan desarrollada como actualmente, en 2010, cuenta ALONSO RODRÍGUEZ, M. Á. et al. (pp. 39 – 40) como al medir fotogramétricamente la bóveda de la Capilla de la Natividad de la catedral de Burgos, de planta

27

Levantamiento del Patrimonio Arquitectónico mediante fotogrametría *SfM*, empleando la pértiga. Torre en el patio de la guardia, Palacio del Generalife.

Trabajo realizado por Pavia University Press y Universidad de Granada, en el Generalife, Granada, 2017.

PARRINELLO, S., GÓMEZ-BLANCO, A., & PICCHIO, F. (2017). (p.98)

Marco Teórico

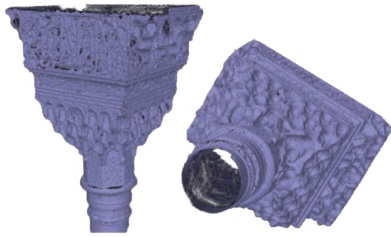
Fotogrametría aplicada al Patrimonio Arquitectónico. Estado de la cuestión.

oval, se apreciaba que las hiladas no eran horizontales sino que ordenadamente se elevaban al acercarse al extremo del eje mayor. Al no confiar en el resultado obtenido, se repitió el proceso mediante estación total, llegando al mismo resultado obtenido con la fotogrametría. Esto demostraba, ya en la primera década de este siglo, como todavía una técnica con mucho por mejorar en los años venideros podía obtener resultados fiables y precisos con el Patrimonio Arquitectónico.

La Universidad de Granada, a través del laboratorio de investigación experimental SMLab (*Survey & Modelling Lab of Architectural Heritage*) y junto con el respectivo laboratorio de la Universidad de Pavia, DAda Lab (*Drawing Architecture Document Action Laboratory*) realizaron un trabajo de investigación a cerca de la documentación del Patrimonio Arquitectónico, usando como referente el Palacio del Generalife. Se empleó tanto escáner láser como tecnología fotogramétrica *SfM*. El conjunto del Generalife se documentó rápidamente con escáner láser, pero paralelamente se realizó una experimentación en zonas concretas con procedimientos fotogramétricos.

Al igual que en esta presente investigación sobre fotogrametría en el Patrimonio Arquitectónico, en la investigación del Palacio del Generalife, la toma de datos fotográficos de elementos decorativos en altura, se realizó haciendo uso de la pértiga fotográfica y cámara con control remoto.

Gracias a la fotogrametría, se pudo obtener un levantamiento de aquellos elementos decorativos de compleja geometría, como los capiteles, pudiendo llevarla posteriormente



28

Malla de un capitel en el Palacio del Generalife obtenido mediante fotogrametría SfM.

Trabajo realizado por Pavia University Press y Universidad de Granada, en el Generalife, Granada, 2017.

PARRINELLO, S., GÓMEZ-BLANCO, A., & PICCHIO, F. (2017). (p.132)



29

Modelo impreso tridimensionalmente.

Trabajo realizado por Pavia University Press y Universidad de Granada, en el Generalife, Granada, 2017.

PARRINELLO, S., GÓMEZ-BLANCO, A., & PICCHIO, F. (2017). (p.133)

a la realidad a través de la impresión 3D. (PARRINELLO, S., GÓMEZ-BLANCO, A., & PICCHIO, F., 2017).

Con este trabajo de investigación, se quiere dejar constancia de la importancia del ejercicio del Levantamiento Arquitectónico, de cara al cuidado de nuestro Patrimonio. Debemos valorar esta disciplina, y entender que todo avance que se haga en este campo, le está añadiendo valor al mismo.

La fotogrametría se presenta como una herramienta con mucho potencial gracias a su accesibilidad y precisión de resultados.

Dar a conocer dicha técnica e investigar su aplicación en el Patrimonio Arquitectónico, valoriza el cuidado y mantenimiento del mismo. Cuanto más avancemos en nuestros Levantamientos Arquitectónicos, mejores resultados obtendremos y a mejores resultados, mejor gestión y difusión de nuestro Patrimonio, lo que lleva a una mayor permanencia en el tiempo.

6. CARMEN DE LA FUNDACIÓN RODRÍGUEZ-ACOSTA



30

Dibujo del alzado sur.

El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta.

Marco Teórico

El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta

En la parte alta del Realejo, en la cima del monte Mauror - o de los Aguadores - (RIVAS, E., 2014, p. 15), próximo al conjunto de la Alhambra y Generalife y entre el Hotel Alhambra Palace (destacado más por su tamaño que por su adecuada integración en el paisaje urbano) y Torres Bermejas, se sitúa el referente arquitectónico, patrimonial, monumental y artístico de El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta. Un hito urbano, que destaca en su entorno por su ubicación y escala, así como por su imponente arquitectura. El edificio se sitúa en una ladera pronunciada, aprovechándose de esto para emerger de las terrazas generadas por su implantación en el terreno escarpado. El conjunto se convierte en un referente a tener en cuenta dentro del conjunto monumental granadino cuando se declara Monumento Nacional en el 1982. (FUNDACIÓN RODRÍGUEZ-ACOSTA, 2022).

El edificio lo funda José María Rodríguez-Acosta, nacido en el 1878 en Granada en una familia acomodada, dedicada a los negocios bancarios. Su situación económica, es lo que le hace poder dedicarse autónomamente toda su vida a la que fue su mayor pasión, la pintura y el arte en su totalidad. (FUNDACIÓN RODRÍGUEZ-ACOSTA, 2022).

Aprendió en el 1889 del maestro de pintura José Larrocha, a la vez que asistía a la Escuela de Artes y Oficios, en Granada. Debido a su forma de ser, y condiciones pudientes, llegó a formarse en Madrid, en el estudio de Emilio Sala, lo que le convertía en uno de los artistas del momento más formados. Su éxito y consagración como reconocido artista vendría en los primeros años del siglo pasado, en el 1908, cuando recibe la Primera Medalla en la Exposición Nacional de Bellas Artes,



31

Autorretrato de José María Rodríguez-Acosta.
1905

RIVAS, E., 2014. (p. 22)

por su obra *'Gitanos del Sacromonte'*. Tras críticas negativas en la misma Exposición del año 1910, y la muerte de sus padres los dos años siguientes, José María Rodríguez-Acosta decide salir de España y viajar por Europa y Egipto, de donde obtendría obras alejadas de lo que acostumbraba en su entorno natal, así como de la enriquecedora experiencia de vivir lugares alejados de lo conocido. En 1914 vuelve de sus viajes y abandona su residencia en Madrid para volver a su tierra natal, Granada. Deja atrás la etapa de su vida en la que se dedicó plenamente a la pintura. En 1915 reabre su estudio en la Cuesta Rodrigo del Campo, pero en esta nueva etapa, tan solo se conoce una obra terminada: su cuadro *'Abril'*. (RIVAS, E., 2014, pp. 21 -24). Desde que volviera a Granada, con las circunstancias ya comentadas, sumándose el estallido de la Primera Guerra Mundial, parece que José María centró su interés y esfuerzo en el proyecto y construcción de su querido Carmen como casa-estudio, dejando a un lado la pintura. *"Soñaba con una construcción singular que hiciese de su estudio significativa atalaya sobre la ciudad"*. (MONEO, R., 2001, P. 17).

En 1916, comienza la construcción del Carmen (demoliciones y preparación de la parcela, ya que oficialmente comenzaron en el año 17). Intervinieron en su creación los arquitectos Modesto Cendoya, Teodoro Anasagasti, Ricardo Santa Cruz y José Felipe Giménez Lacal, junto con la contribución del escultor Pablo Loyzaga. Aun que se reconoce en su diseño la firma personal de su dueño e ideador: José María Rodríguez-Acosta. (FUNDACIÓN RODRÍGUEZ-ACOSTA, 2022).

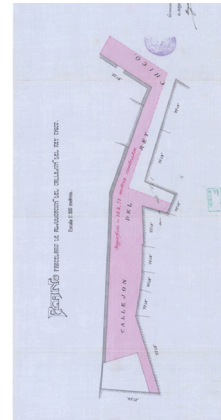
Según RIVAS, E. (2014, p. 73), en su trabajo de investigación,

Marco Teórico

El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta

tras la lectura y descubrimiento de archivos históricos, cuenta que la contribución del arquitecto Modesto Cendoya Busquet fue crucial para el nacimiento del Carmen, siendo el responsable de los proyectos de configuración de la parcela donde se ubicaría, proceso en el que José María Rodríguez-Acosta se apropia de las pocas viviendas que había entre las calles Niño del Royo y Aire Alta, así como de la propia calle del Rey Chico, la cual acaba incorporando a la propiedad y desapareciendo en la configuración de la obra (32). Modesto Cendoya, como ingeniero militar dominaba la técnica del aterrazamiento de laderas, siendo el responsable del proyecto de dicho aterrazamiento y estabilización de los terrenos, que configuraría los jardines y terrazas actuales, de donde nace el edificio. Etapa muy importante para el resto de su consolidación.

El primer proyecto de la casa-estudio vendrá de manos del arquitecto malagueño Ricardo Santa Cruz, con acceso principal del edificio por la calle Niño del Royo. Es en 1916 cuando el pintor recibe por vez primera los primeros dibujos para la construcción del Carmen, según MONEO, R. en 2004 (p. 18). Era deseo del pintor, incorporar al edificio algunos elementos y antigüedades procedentes de edificios renacentistas e hispano-musulmanes. (POZO FELGUERA, G., 2017). De este primer proyecto se conocen cuatro plantas, cuatro alzados (33) y una sección; una segunda sección por el patio mayor detallada y un detalle en perspectiva de una de las columnas del patio. RIVAS, E. en su tesis de 2014 (p. 74), cuenta que en los archivos de Miguel Giménez Yanguas, encontró fotocopias de estas planimetrías originales.



32

Plano parcelario de adjudicación del callejón del Rey Chico.

RIVAS, E., 2014. (p. 58)



33

Alzado sur del proyecto de Santa Cruz.

RIVAS, E., 2014. (p. 78)



34

Comparativa del cuadro 'La isla de los muertos' (arriba) y mi dibujo (Imagen 30, abajo) del alzado sur del Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta.

Como ya destaca el propio RIVAS, E. en la ya citada tesis doctoral del 2014 (p. 74), y se evidencia rápidamente al ver los documentos gráficos, desde este primer proyecto ya se aprecian elementos que perduraron hasta el proyecto final y se pueden observar en el edificio construido a día de hoy: la portada procedente de Baeza –que será objeto de estudio en este trabajo de investigación– la organización entorno a un patio central y una arquitectura flanqueada por torres, aunque se puede apreciar en la planimetría de Santa Cruz, eran torres con proporciones muy diferentes a las finalmente construidas.

Estas características, que perduran desde el primer proyecto hasta lo finalmente construido, se le atribuyen fuertemente a la ideación de José María Rodríguez-Acosta por parte de autores como MONEO, R. (2004), restando responsabilidades a los arquitectos que pasan por el proceso proyectual de la construcción del Carmen. Una idea traída de autores como Miguel Ángel Revilla en la biografía de José María Rodríguez-Acosta que realiza en 1992, es que D. José María estuvo fuertemente influenciado por un cuadro en concreto para la concepción de su Carmen. Dicha pintura, perteneciente a Arnold Böcklin, la contempló por vez primera en uno de sus viajes a Alemania, este cuadro sería conocido como '*La isla de los muertos*', de la cual se hicieron hasta cinco versiones diferentes. (34)

Oficialmente, en 1917 comienzan las obras siguiendo el proyecto existente de Santa Cruz, según la licencia municipal de obras, con fecha 20 de agosto de ese año, aunque el proyecto era muy básico el proceso constructivo se inició siguiendo los planos de Santa Cruz. (POZO FELGUERA, G., 2017).

Marco Teórico

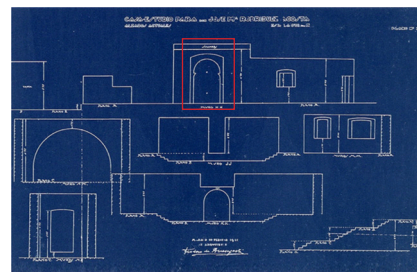
El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta

A José María Rodríguez-Acosta no le debía de agradar en demasía esta primera propuesta, ya que en 1920 despidió a Santa Cruz, con las obras ya empezadas, y el arranque de la construcción ya se había realizado siguiendo el proyecto de Santa Cruz. Pone al mando a otro arquitecto: Teodoro de Anasagasti y Algán.

Los planos encontrados del proyecto de Anasagasti están fechados en febrero de 1921, poco tiempo después de despedir a Santa Cruz. Estos primeros documentos gráficos mostraban también el estado de la obra al momento de la llegada de Anasagasti (35). Se aprecia que el arranque en planta del proyecto de Santa Cruz ya estaba iniciado, así como la colocación de la portada en el callejón niño del Royo. Este hecho lo contrasta RIVAS, E. (2014. p. 88) con unas fotografías tomadas en 1921 por dos americanos, Arthur Byne y Mildred Stapley para la elaboración de su libro: *'Spanish gardens and patios'*. La imagen número 36 es un detalle realizado por RIVAS, E. donde remarca en esa fotografía de 1921 la situación de la portada ya colocada. (RIVAS, E., 2014, pp. 21 -24).

Por ello, la fotografía encontrada del momento de la colocación de dicha portada (37), donde la podemos ver construida parcialmente en el suelo, de la cual no se conoce el año exacto, debe ser una fotografía tomada en la recta final de la etapa de Ricardo Santa Cruz al mando del proyecto, previa a la llegada de Anasagasti, entorno al 1920.

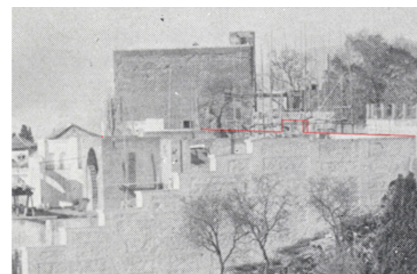
El proyecto de Anasagasti, cambiaba el lenguaje hispanomusulmán de los planos de Santa Cruz a un lenguaje clásico.



35

Estado de las obras cuando llega Anasagasti al proyecto. Se puede apreciar como de una forma simplificada ha representado la portada y situada (resaltada en rojo).

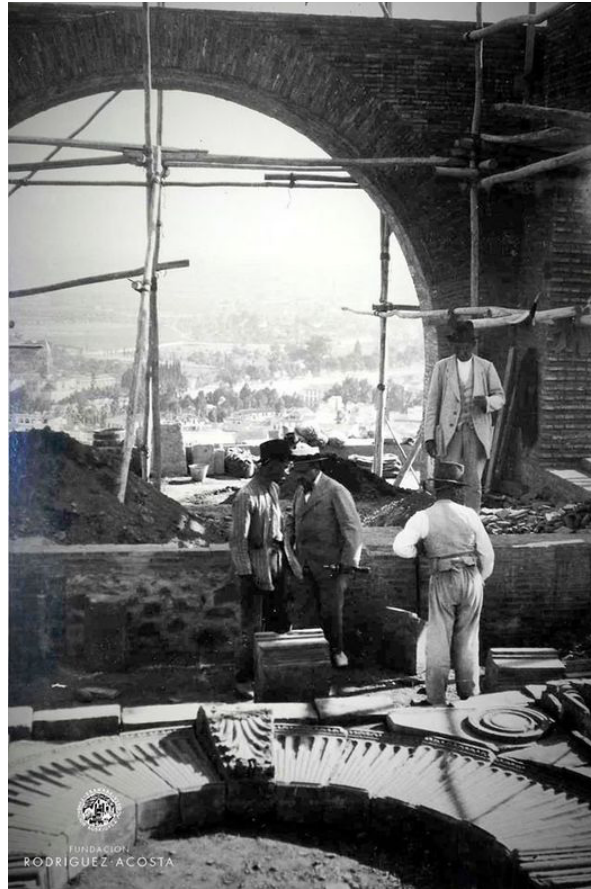
RIVAS, E., 2014. (p. 87)



36

Fotografía del estado de las obras en 1921. Tomada por Arthur Byne y Mildred Stapley. Editada por Ernesto Rivas (2014), resaltando la presencia de la portada baccense.

RIVAS, E., 2014. (p. 87)



37

Fotografía del momento de las obras. Podemos observar en el suelo el arco de la portada previa a su colocación, conformada por esas dovelas talladas tan características y la dovela clave tallada en forma de hojas de acanto. Elemento más singular de dicha portada procedente de Baeza.

Se puede observar el estado del resto de las obras, correspondiente al estado detallado por Anasagasti en la imagen número 35.

Marco Teórico

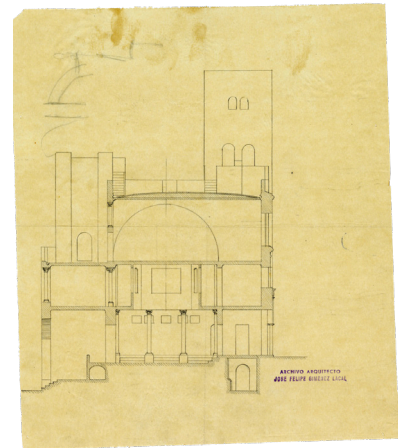
El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta

Cabe destacar, que a la llegada de Anasagasti y gracias a su documentación del estado actual de las obras, ya podemos ver un cambio de lo allí construido con los planos de Santa Cruz. El arco apuntado en fachada sur de Santa Cruz, que podemos ver en la imagen 33, Anasagasti ya se lo encuentra construido diferente, como se aprecia en las imágenes 35 y 37: un arco de medio punto de seis metros de luz. Hecho que demuestra, que no todo los cambios del lenguaje hispanomusulmán al clásico de Anasagasti, no es todo responsabilidad suya.

MONEO, R., en 2001 achaca estos cambios al propio D. José María, a lo largo de la construcción y previo al despido de Santa Cruz, el cual cambia de opinión queriendo abandonar esas líneas de la cultura hispanomusulmana por una imagen más clásica (p. 36). RIVAS, E. (2004, p. 90) opina que estos cambios pudieran deberse al mismo Modesto Cendoya, que hasta el 1918 no se iría de las obras por los trabajos de cambio de rasante en la calle Niño del Royo.

Entonces Anasagasti, finalmente lo único que aportó al proyecto fue eso: un proyecto. Pues no llegó a iniciarse en ningún momento la construcción de nada de lo que él propuso, pues en 1923, cuando se iban a iniciar las obras, el pintor decide acabar la relación arquitecto - cliente con Anasagasti. (RIVAS, E., 2014. p. 102).

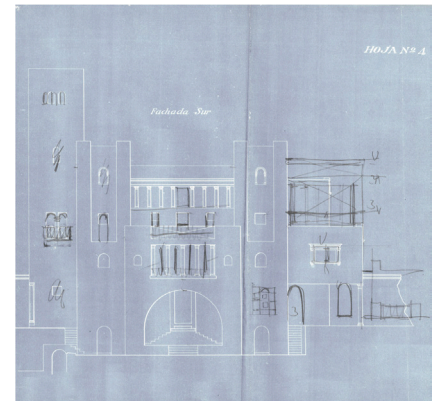
José Felipe Giménez Lacal, sería el arquitecto encargado del diseño definitivo que hoy conocemos del edificio. En 1923, el arquitecto estaba con el proyecto del Palacete de Quinta Alegre, en la avenida Cervantes, para el hermano del pintor, Miguel Rodríguez-Acosta, quien fue el que recomendó al



38

Sección a lápiz del arquitecto José Felipe Giménez Lacal.

RIVAS, E., 2014. (p. 141)



39

Alzado sur con modificaciones a lápiz encima.

RIVAS, E., 2014. (p. 206)



arquitecto para finalizar el proyecto y obra de la casa-estudio de D. José María. (RIVAS, E., 2014. pp. 107-108).

De este último proyecto y definitivo, si se conserva gran número de documentación gráfica: croquis a mano alzada de anteproyecto, planos a 1/50 con correcciones hechas a lápiz encima, detalles constructivos. (39)

Este sería el proyecto final que se llevaría a cabo para la construcción del deseado Carmen casa-estudio de Jose María Rodríguez-Acosta. La finalización de las obras se data entorno al 1928, gracias a la fotografía (40) tomada en ese año, donde ya se ve el Carmen terminado, con un leve andamiaje todavía en el lateral derecho y los cipreses con una altura muy baja.

De nuevo, siguiendo la misma línea en su pensamiento, MONEO, R., (2001, p. 51) sostiene que sería José María Rodríguez-Acosta el verdadero arquitecto del Carmen, usando a Gímenez Lacal como mero técnico que firmase el proyecto, pero las decisiones definitivas iban a tener siempre la última palabra del pintor. No piensa así RIVAS, E. (2014, p. 248), que otorga un papel fundamental en las decisiones a D. José María, pero sin quitar autoría a los arquitectos que pasan por la construcción del Carmen. Diferencia entre “*desear*” e “*idear*”.

40

Fotografía desde el Realejo, datada en el 1928. Se pueden observar en lado derecho del edificio todavía unos andamiajes colocados. Las obras estarían a punto de terminar. Se puede observar también la altura de los cipreses en aquello entonces.

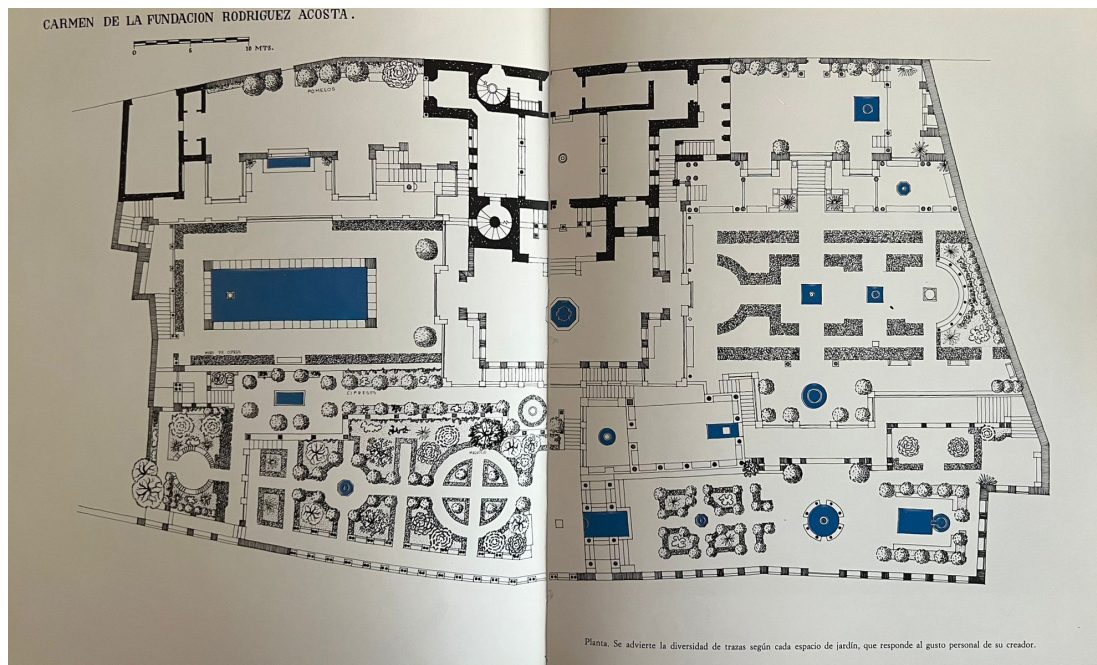
RIVAS, E., 2014. (p. 221)

Marco Teórico

El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta

PRIETO-MORENO, F. (1983):

Fuera de la línea de lo típicamente granadino, pero tampoco exento de valores locales, en razón de su emplazamiento, del carácter del terreno, cuyos fuertes desniveles facilitan la más extraordinaria visión del horizonte y también por el sentido estético y la actividad artística de su propietario, el pintor Rodríguez Acosta, maestro de la última escuela granadina, este carmen es producto de una desbordante fantasía. Los efectos de perspectiva conseguidos corresponden a una hábil técnica escenográfica, sobre la que se advierte un cierto sabor de melancolía, causado por el sucesivo empleo de cipreses y mármoles, que salen del clásico carácter del carmen para penetrar en el jardín italiano, cuyo gusto se acentúa por la profusión de columnatas y esculturas, traídas por su propietario de diversos países.



41

Planimetría de Francisco Pietro-Moreno de los jardines del Carmen, en su libro referente a los jardines de Granada.

PIETRO-MORENO, F. (1983)

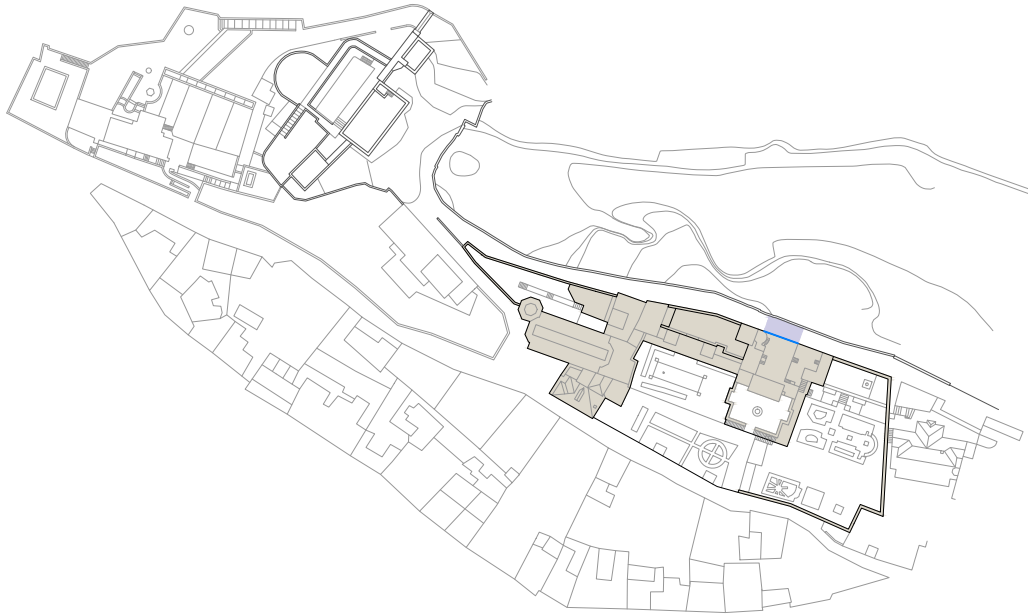
CAPÍTULO III.

FUNDAMENTACIÓN EMPÍRICA

7. PORTADA FACHADA NORTE



Situación



⌚ E: 1/2000



Fundamentación Empírica

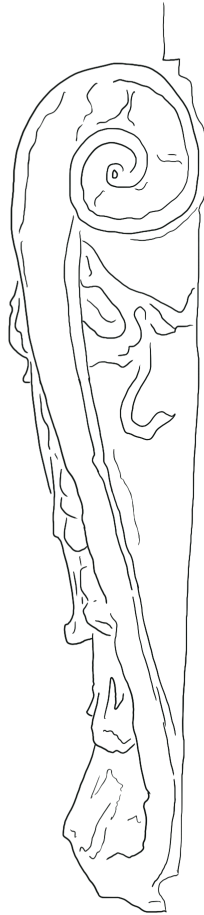
Portada en Fachada Norte - Callejón Niño del Royo

7.1. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVO

El acceso al Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta se produce a través de una portada tallada en piedra con una puerta de metal con herrajes de geometrías sinuosas. Un arco donde se marcan claramente las dovelas con un mismo patrón tallado en bajo relieve, diferenciando claramente la dovela clave, elemento más destacable de todo el conjunto. Sobresale del resto de dovelas, dándole la importancia que esta tiene en la propia configuración del arco, con un tallado en alto relieve de hojas de acanto. Como podemos ver en la imagen que encabeza este apartado, y en la imagen 42 de la derecha.

La portada cuenta con unas geometrías difíciles para una toma de datos directa si se quisiese hacer un levantamiento gráfico muy preciso de la misma.

Por ello, evaluaremos entonces, como la fotogrametría nos permite documentar dichas formas para poder obtener un alzado preciso de todos sus elementos así como poder obtener un modelado tridimensional cuyo objetivo principal sea poder llevarlo a una maqueta física a través de la impresión 3D, como medio de difusión del Patrimonio Arquitectónico, con especial interés en esa dovela clave, que por su morfología orgánica de hojas de acanto, sería muy costoso su modelado (además de poco preciso y fiable) si no contamos con la fotogrametría.



42

Perfil de la dovela clave del arco en la portada
de fachada norte.



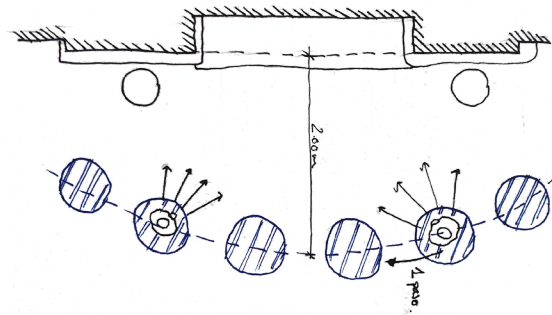
7.2. TRABAJO DE CAMPO

Sabiendo lo que buscábamos, la toma de datos se dividió en dos: una primera toma para documentar toda la portada, y otra para documentar solo la dovela clave, buscando una mayor definición de esta para su impresión 3D, lo mismo se hizo con la aldaba metálica, también con una geometría muy orgánica y sinuosa.

Las condiciones ambientales para esta toma de datos no eran muy preocupantes. Como la portada da al norte, esta cuenta casi todo el día con una iluminación muy homogénea, ya que al no recibir la luz solar directamente, no se generan fuertes sombras que dificulten la toma de datos. Debido a la materialidad y geometría de la puerta, los puntos homólogos entre fotografía y fotografía iba a ser sencillo.

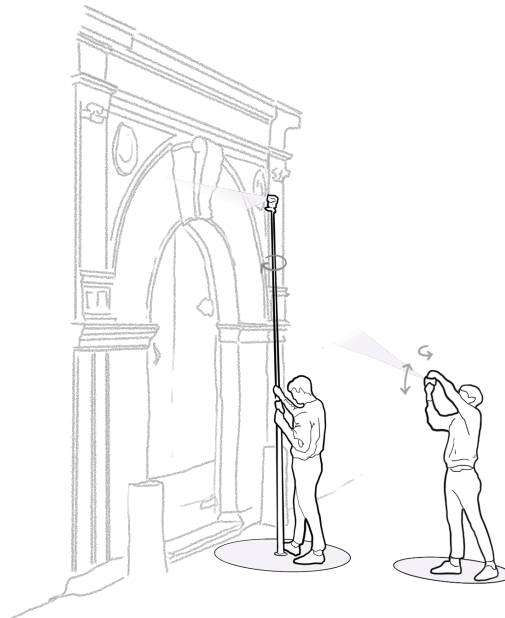
Para esa primera toma más general, se planteó un recorrido de izquierda a derecha, con una separación de unos dos metros a fachada, y un recorrido no paralelo a la misma, sino haciendo un poco de curvatura, alejándose más en la zona central (43). Este recorrido se iba produciendo con estaciones de fotografiado separadas entre sí un paso, en cada estación se realizaron cuatro fotografías girando sobre mi mismo a tres alturas diferentes (agachado, frente al pecho y sobre mi cabeza).

Para la toma de datos de la clave, de una posición más cercana y haciendo uso de la pértiga se fotografió todo el volumen, desde todas las direcciones, intentando que no quedase una superficie sin ser fotografiada. Lo mismo con la aldaba, pero sin hacer uso de la pértiga.



43

Croquis en planta, sobre la metodología de la primera de toma de datos general en la fachada norte.



44

Ambas situaciones descritas de toma de datos frente a la portada. Con la pértiga junto a la clave y más alejada con cámara en mano para esa toma más general.



7.3. TRABAJO DE TALLER

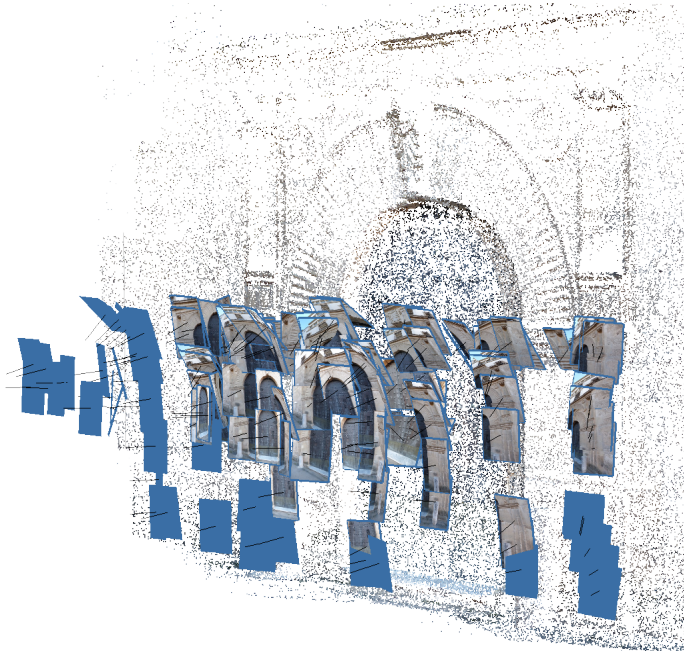
7.3.1. RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA. *AGISOFT METASHAPE*

Al igual que con la toma de datos, la restitución en *Agisoft Metashape* se realizó en esos tres mismos grupos, pero sin fusionar el resultado, debido a que de la clave y la aldaba buscábamos obtener una malla debidamente definida para añadirla a nuestro modelado, para su posterior impresión.

Del primer conjunto de toma de datos, se contaban con 140 cámaras, se obtuvo una malla de todo el conjunto, con algunas zonas menos definidas. Con esto, ya se contaba en la toma de datos, debido a que no se empleó la pértiga para 'iluminar' aquellas superficies en altura que quedaban en 'sombra'. Queriendo ver si así, era suficiente para poder obtener un buen alzado. En el mapa de calor de la imagen 46, podemos ver como esas zonas rojas, correspondientes a las sombras generadas, se acumulan en las partes altas: superficie inferior de las hornacinas laterales, parte superior de la clave y la superficie superior de las cornisas sobresalientes en el entablamento.

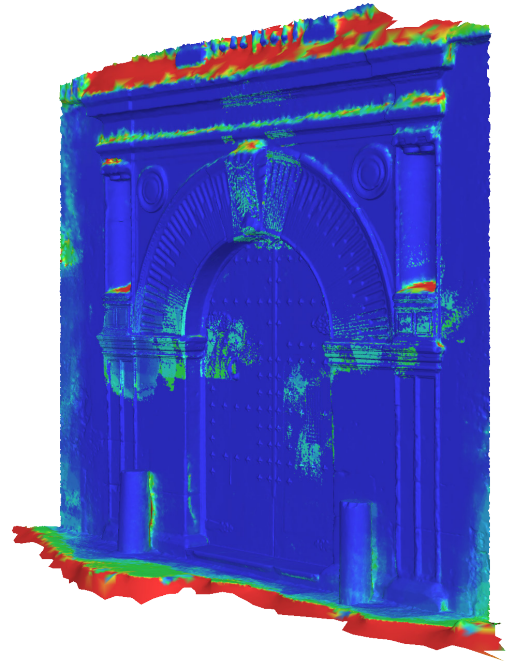
Como se adelantó previamente en el apartado anterior, correspondiente a la planificación del trabajo de campo, gracias a la morfología, materialidad y condiciones lumínicas, la búsqueda de puntos homólogos y consiguiente alineación de cámaras no iba a ser dificultosa para el programa.

Tras la creación de la malla y textura del conjunto, se procedió a escalar el modelo referencia con las medidas tomadas



45

Nube de puntos y situación de las cámaras generada con la alineación de las primeras fotografías tomadas.



46

Mapa de calor donde se puede ver que las zonas rojas son las sombras acumuladas en las partes altas.



Fundamentación Empírica

Portada en Fachada Norte - Callejón Niño del Royo

in situ. Se tomó el ámbito de la puerta (2,03 m). Para comprobar que la proporción de la malla generada es correcta, se tomó una segunda medida en el eje vertical de la misma, de la clave al escalón de acceso (3,10 m), coincidiendo a la perfección en nuestra malla ya escalada y proporcional a la realidad.

Como se ha explicado previamente, la clave y la aldaba, que fueron fotografiadas con mayor exhaustividad, sus modelos han sido generados con el objetivo de obtener un malla tal, que se pudiera incorporar directamente a nuestro modelo 3D para su impresión.

Para la aldaba se contaban con 21 cámaras, la definición alcanzada con 21 fotografías para un objeto de escala tan pequeña es muy alta. (47-48)

El resultado de la dovela clave, también ha sido muy satisfactorio. Con tan sólo 35 cámaras, la definición de todos sus elementos tallados ha sido muy precisa. (49-50)



Fundamentación Empírica

Portada en Fachada Norte - Callejón Niño del Royo



51

Malla del conjunto con textura. Correspondiente a la primera toma de datos general.



52
Malla con textura de la aldaba.



53
Malla con textura de la clave.



Fundamentación Empírica

Portada en Fachada Norte - Callejón Niño del Royo

7.3.2. DOCUMENTACIÓN 2D Y 3D

Como hemos visto, la malla referencia ha quedado con algunas zonas menos definidas: en sombra. En principio esta fue la única dificultad para poder realizar el levantamiento del alzado. Calcando la realidad trasladada a la malla obtenida, se consiguió un alzado muy preciso, pudiendo representar fácilmente y al detalle deseado, todos esos elementos de sinuosa morfología: cerraduras, herrajes, clave, aldaba...

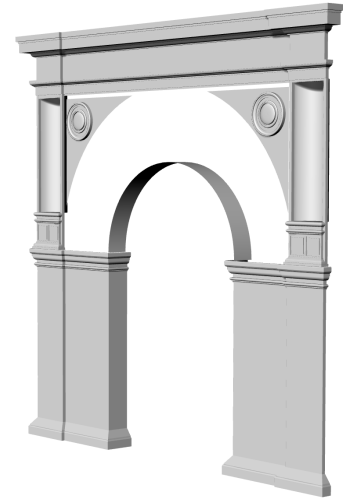
Para el modelado tridimensional sucedió lo mismo, a la vez que iba modelando, se iba comprobando la coincidencia del volumen obtenido con la malla referencia. La clave y la aldaba no fueron modeladas, solamente se añadió la malla mostrada anteriormente. (52-53)



54

Captura del proceso de levantamiento del alzado.

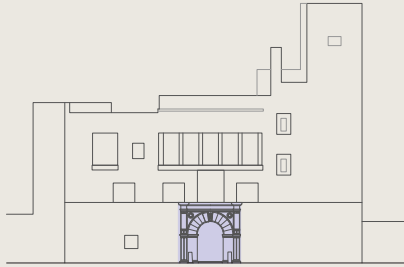
Calcando la realidad



55

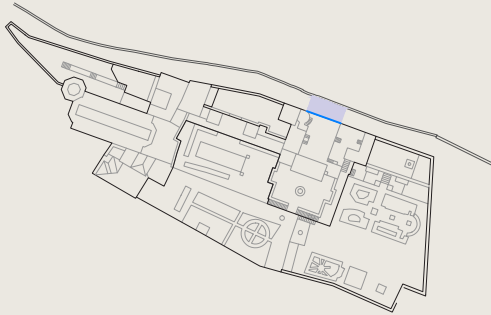
Captura del proceso de modelado. Podemos ver la coincidencia con la malla de referencia.

Calcando la realidad

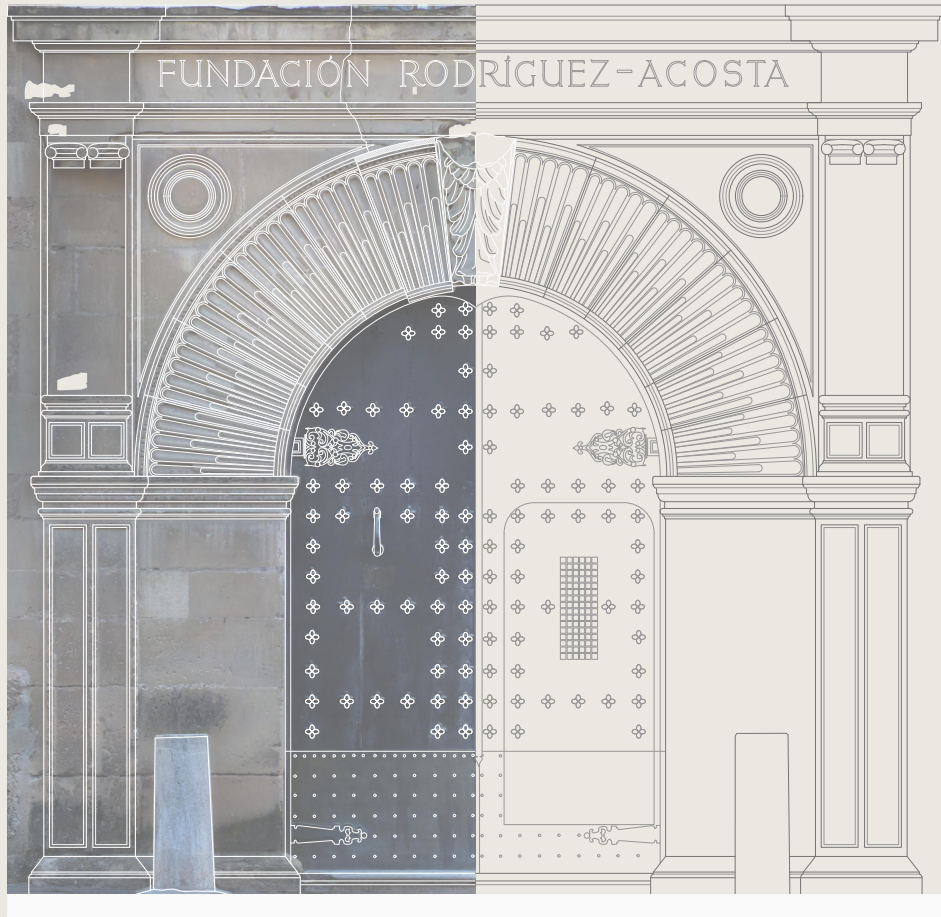


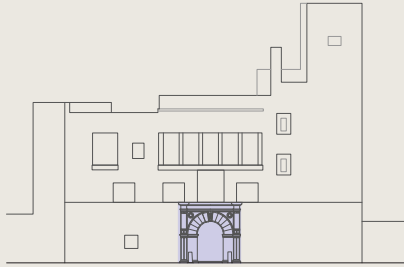
Callejón Niño del Royo

Alzado



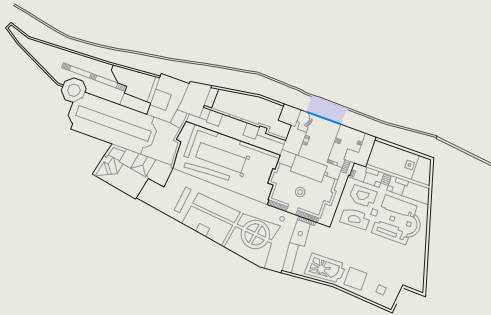
⌚ E: 1/40

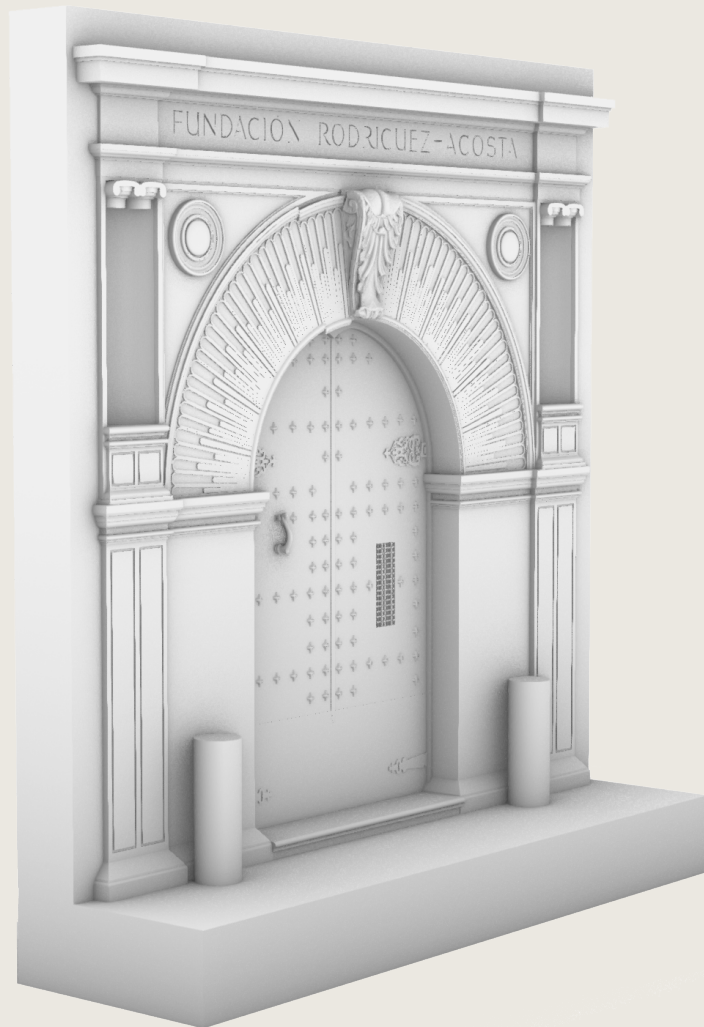




Callejón Niño del Royo

Modelo 3D







Fundamentación Empírica

Portada en Fachada Norte - Callejón Niño del Royo

7.3.3. DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO A TRAVÉS DE LA MAQUETA

Dar a conocer, difundir, hacer que los ajenos a la arquitectura, el arte y similares disciplinas, se interesen por el patrimonio construido, es un ejercicio complejo.

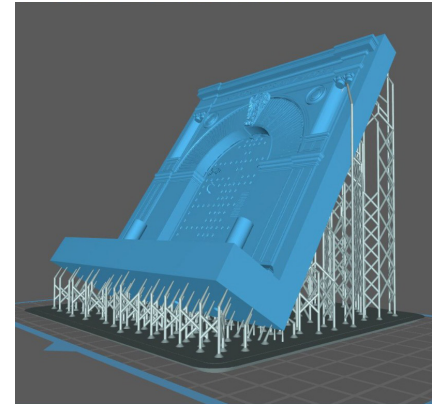
Hay multitud de vías para esta difusión, y a medida que los avances tecnológicos continúan desarrollándose, más surgen.

Con el desarrollo de las impresoras 3D, se ha hecho posible hacer físico aquello que creamos en el ordenador, y no de una manera artesanal y única, sino que existe la posibilidad de imprimir una misma maqueta a diferentes escalas y tantas veces como se desee.

La difusión del patrimonio arquitectónico mediante la maqueta, busca acercar al usuario, mediante esa representación de la arquitectura construida en escala.

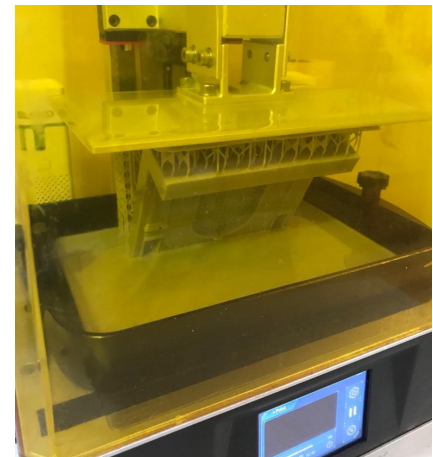
A través de la maqueta, una herramienta tradicionalmente empleada en la arquitectura, que te hace posible visualizar la arquitectura cerca de ti, manipularla con una sola mano y estudiarla de cerca, acercado en escala la realidad.

La fotogrametría nos ayuda a poder modelar fácilmente arquitectura de gran interés patrimonial. Así como, poder obtener elementos esculpidos con una morfología muy orgánica, como ha sido en nuestro caso la dovela clave del arco.



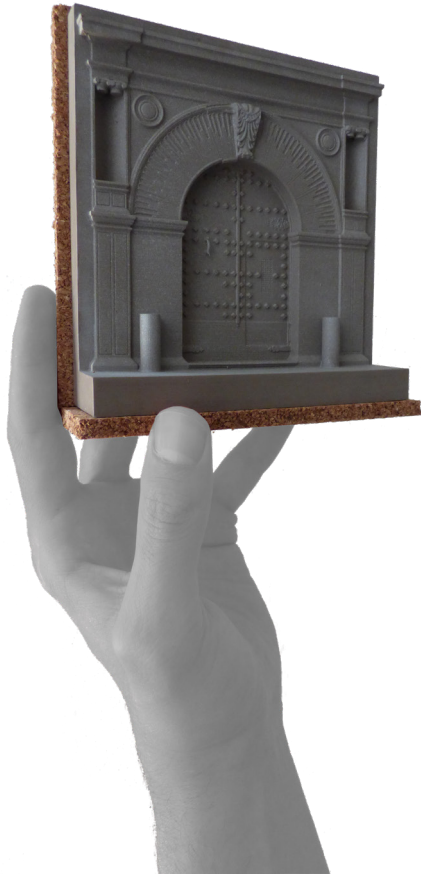
56

Captura del proceso de preparación del volumen modelado para su impresión 3D.



57

Fotografía durante la impresión del modelo 3D.



58

Resultado de la maqueta impresa en resina a
escala 1/40.



7.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

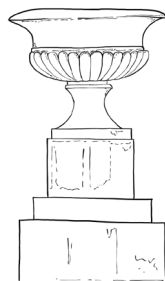
Tras describir el proceso seguido, podemos llegar a unas conclusiones concretas a cerca del recorrido hasta llegar a nuestro objetivo.

Se ha querido poner a prueba a la fotogrametría como herramienta de toma de datos en el Patrimonio Arquitectónico, con un fin muy determinado: el levantamiento del alzado de la portada y modelado de la misma para su impresión 3D.

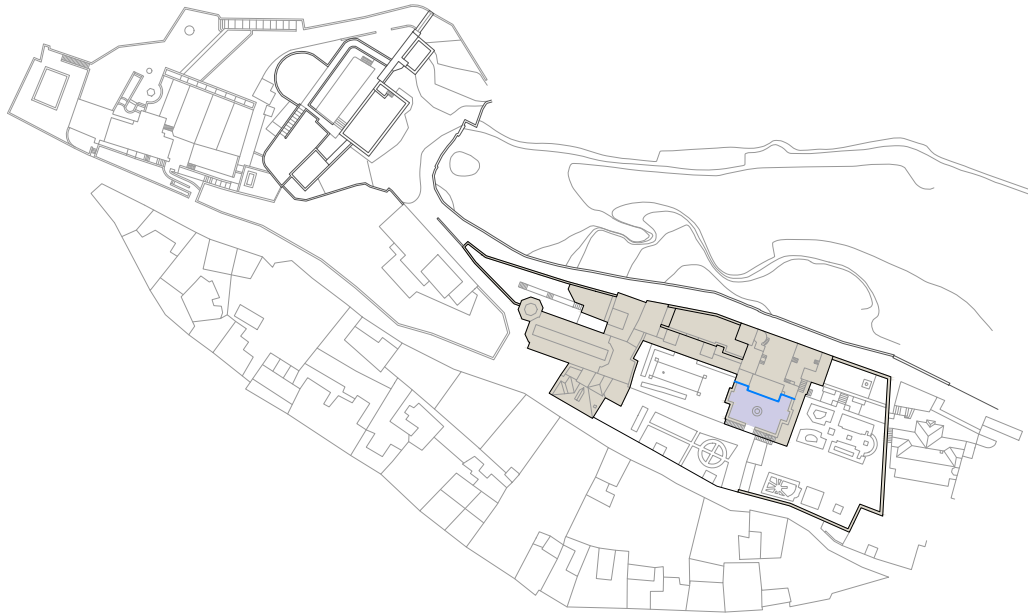
Lo primero, destacar que en este caso no ha habido mayor problema que el ya comentado con la decisión de no usar la pértiga en la primera toma de datos más genérica, el levantamiento del alzado no se ha visto afectado por ello. Pero hay que decir que, esto ha sido así por otras ventajas presentes, como la condición lumínica, la materialidad y la más destacable: la altura de dicha portada. Diría que, para este tipo de trabajos, si se cuenta con ella, es fácil y aconsejable emplear la pértiga, ya que la malla resultante será más detallada, y la documentación del alzado será mucho más sencilla.

Gracias a la fotogrametría se ha obtenido: un alzado con fotoplano a escala 1/50 donde se han representado al máximo todos los detalles presentes y un modelo tridimensional con aquellos elementos con formas orgánicas muy bien definidos, tal que se ha podido llevar a la realidad en una maqueta impresa en resina a escala 1/40, como ejemplo de como la fotogrametría puede ayudar tanto a la documentación como la difusión del patrimonio, en este caso mediante la maqueta.

8. FACHADA SUR



Situación



⌚ E: 1/2000



8.1. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVO

La fachada sur del Carmen es la imagen del edificio a la ciudad. Un imponente alzado blanco que sobresale con un juego de volúmenes a base de ‘torres’ de entre un bosque de cipreses. A sus pies, la terraza central, es el balcón a la ciudad.

En el apartado anterior, se ha documentado únicamente la portada de toda una fachada. Una superficie que no superaba los cinco metros de altura y los cinco de ancho. Una documentación de precisión y detalle de la arquitectura, donde la fotogrametría ha sido una herramienta muy apropiada.

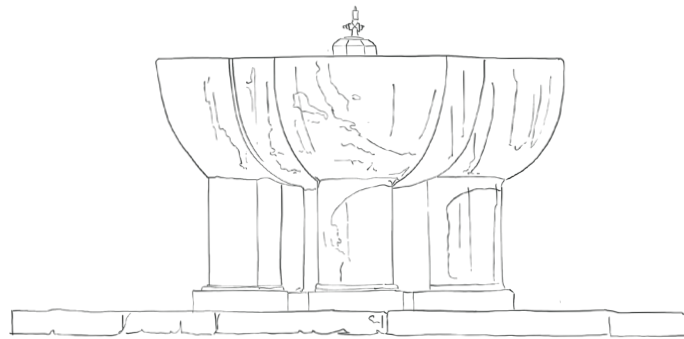
En este segundo apartado de nuestra investigación, se buscará lo opuesto. La intención es, ver que nos aporta la fotogrametría como herramienta para poder realizar un levantamiento de todo el alzado de un edificio de gran escala.

La altura desde la terraza central se estima de un poco menos de veinte metros. Proceder a su documentación de la misma forma que con la portada norte sería absurdo, puesto que con la pértiga sería imposible llegar hasta la altura máxima, y debido a la homogeneidad de la superficie de toda la fachada, no serviría de nada realizar una toma de datos fotográfica desde una posición próxima a esta, ya que todas las imágenes serían muy similares y sería complicado encontrar puntos homólogos entre las imágenes obtenidas.

Partiendo de esta premisa, se va a probar a documentar la fachada usando la cámara en mano solamente, y desde una distancia alejada, para documentar la totalidad del alzado y

comprobar si la fotogrametría nos proporciona una ortofoto del alzado con una definición suficiente para realizar el levantamiento bidimensional de la fachada completa. Sabiendo previamente, que esta ortofoto carecerá de definición, en comparación al apartado anterior de la portada. Hecho que se verá repercutido en el posterior levantamiento.

Se espera, que el resultado fotogramétrico nos proporcione una vía fiable de obtener un alzado fiel a la realidad, en cuanto al rigor métrico se refiere.





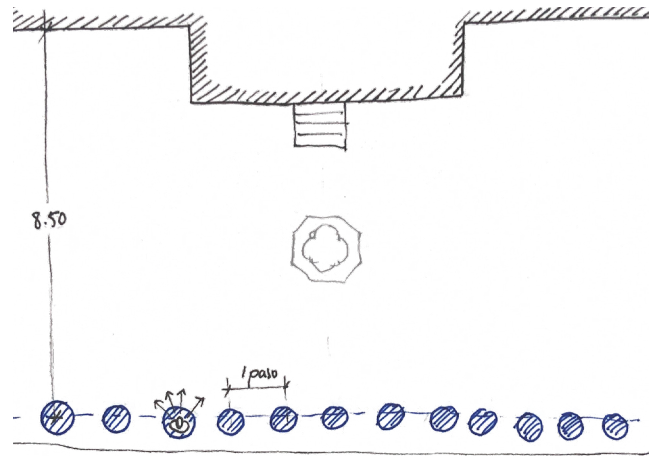
8.2. TRABAJO DE CAMPO

Como se ha expuesto previamente, se partía con una premisa clara para la documentación de la fachada: comprobar si con una toma de datos general de todo el conjunto, lo más alejado posible de esta, y empleando solo una toma de datos fotográfica de cámara en mano, era suficiente.

Este procedimiento de toma de datos se abordó desde la distancia máxima que la terraza central nos permitía, unos 8,50 metros. Empezando de izquierda a derecha, con estaciones de fotografiado separadas una de otra un paso, y barriendo a base de fotografías toda la superficie del alzado desde cada una de estas estaciones.

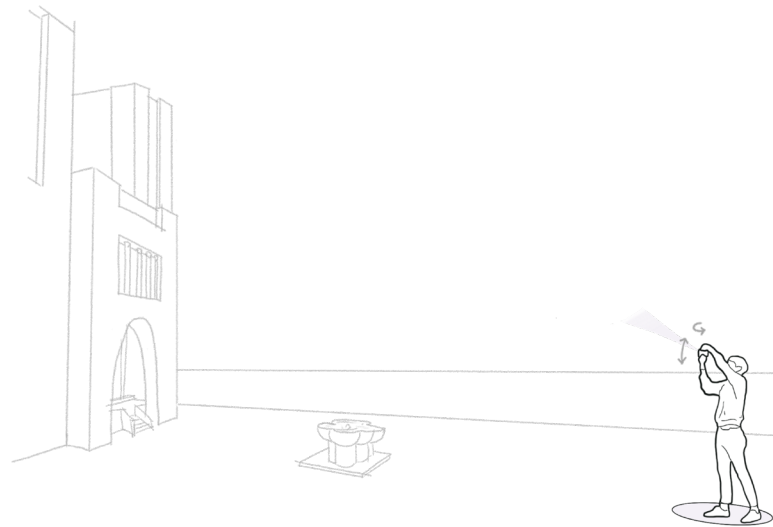
En el momento de toma de datos, ya me percaté de ciertas limitaciones que iban a surgir al abordar la metodología de dicha manera. El modelo fotogramétrico se genera a raíz de lo que las fotografías capturan, y desde la posición tomada no se fotografiaba el segundo plano que conforma la fachada sur: la torre de más altura de la lateral izquierdo, y el volumen central fuertemente retranqueado de la línea de fachada. Aún así, se continuó con el plan establecido, ya que la intención de investigación aquí era valorar el resultado obtenido a partir de este tipo de toma de datos concreto.

Para la futura alineación se tomó dos medidas en dos ejes diferentes, para comprobar que la proporción de la restitución es correcta. Se tomó el ancho del arco (5,97 metros) y su altura desde el último escalón (4,11 metros).



60

Croquis planteamiento de la metodología empleada para la toma de datos.



61

Metodología empleada para la toma de datos.



8.3. TRABAJO DE TALLER

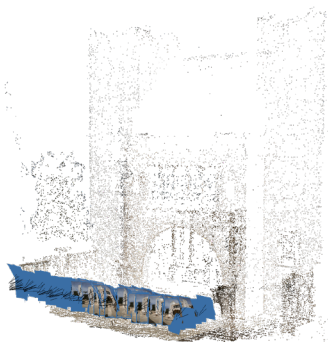
8.3.1. RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA. *AGISOFT METASHAPE*

Tras la toma de datos, se contaba con un total de 178 imágenes, de las cuales se pudieron alinear perfectamente todas y de inmediato. Obteniendo una primera nube de puntos la cual se apreciaba poco densa (comparando con el resultado obtenido en la portada por ejemplo), pero se identificaba a la perfección el volumen del conjunto fotografiado.

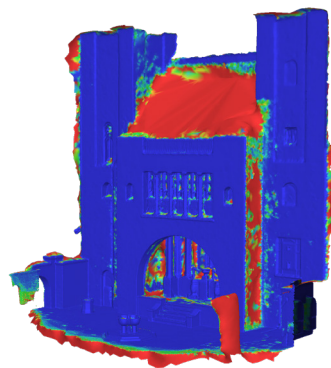
A la hora de densificar la nube de puntos, elijo el parámetro '*Quality: High*'. Para que la malla después se resuelva con más definición. Este proceso, duró alrededor de hora y media. La formación de la malla después de densificar con tanta calidad la nube es un proceso rápido.

Como ya se ha expuesto, era un hecho que la malla iba a tener grandes superficies sin generar (sombras), debido a la metodología de toma de datos que nos ha proporcionado pocas imágenes (178 para esta gran superficie) y desde una distancia bastante lejana, pero lo que nos interesa es obtener el fotoplano correspondiente al alzado de esta malla.

Una vez orientado el modelo, se escaló y comprobó que las proporciones con las medidas en el otro eje eran correctas y ya podíamos obtener el fotoplano correspondiente.



62
Nube de puntos y ubicación de cámaras.



63
Mapa de calor en la malla obtenida.
Se aprecia como los planos en primera línea y orientados al alzado buscado se han formado bien (azul). Al igual, que el retranqueo de la fachada entre las dos torres no se ha conseguido formar, ya que desde la terraza central no era visible.



64
Malla con textura.



Fundamentación Empírica

Fachada Sur



65

Fotoplano del alzado obtenido.



66

Detalle del fotoplano.
Zona baja.



67

Detalle del fotoplano.
Zona alta.

La imagen 64 corresponde al fotoplano obtenido de la malla. De la totalidad del alzado, ya sabíamos que la torre y el volumen central retranqueado, no íbamos a obtenerlo. Aun que sí se ha obtenido la línea que marca la cota máxima de ese volumen central retranqueado, sólo faltaría completar con los huecos de dicho volumen.

Por lo general, todos los elementos han quedado adecuadamente restituidos. Se observa como a medida que vamos subiendo en altura, la precisión de los volúmenes baja. Esto lo podemos ver comparando los detalles extraídos a mayor escala cómo la fuente central está mejor definida que los capiteles de la columnata superior. (66-67)

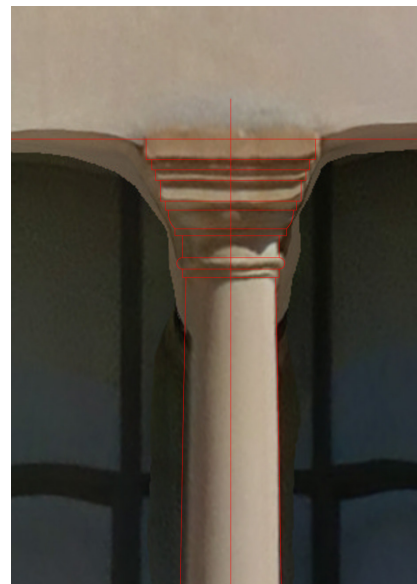
Si el objetivo fuese obtener un alzado a escala 1/50 tan detallado como el de la portada de fachada norte en el apartado anterior, este fotoplano sería insuficiente, no contamos con un documento fiable para ello. Veremos entonces, hasta donde podemos llegar a documentar el alzado con este documento como referencia.



8.3.2. DOCUMENTACIÓN BIDIMENSIONAL

Una vez obtenido el fotoplano mostrado en la imagen número 65, seguidamente procedimos a calcar la realidad trasladada a dicha ortofoto.

Como hemos visto, algunas zonas habían quedado poco definidas o confusas. No es motivo para no poder interpretar que está pasando realmente, sin inventar la información, por ejemplo: corregir e interpretar los capiteles poco definidos sin detallarlos mucho (68) pero, no inventar los huecos no obtenidos en el retranqueo superior central.



68

Detalle de la captura durante el proceso de levantamiento del alzado a través del fotoplano. Calcando la realidad.

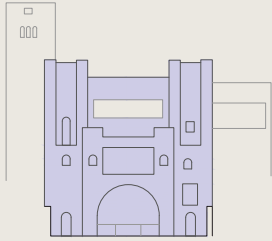
Interpretación del capitel, con la información aportada por el fotoplano.



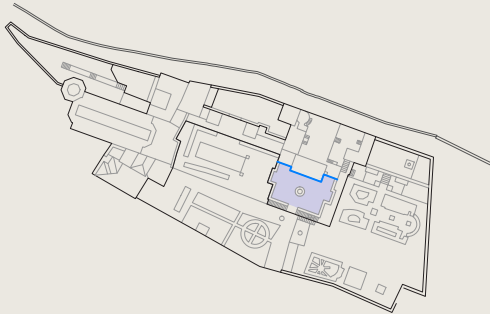
69


Captura durante el proceso de levantamiento
del alzado a través del fotoplano.

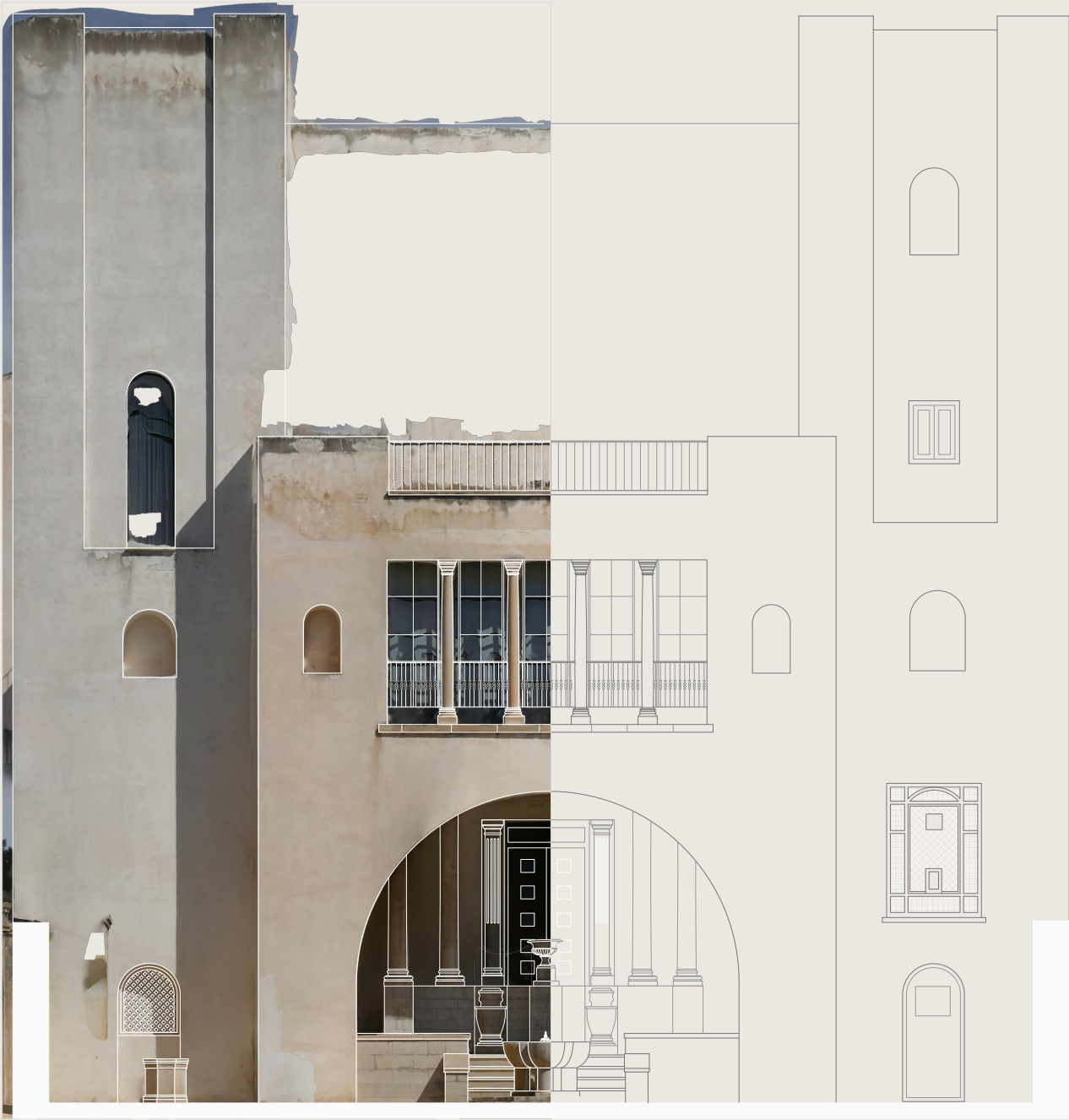
Calcando la realidad.



Alzado



0 2 5  E: 1/100





8.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Analizando el trabajo realizado sobre la fachada sur, destacaríamos varias cuestiones positivas que salen a la luz a cerca del objetivo buscado, así como otras adversas.

Cuando se trata de una fachada de gran escala, y si contamos con un espacio amplio delantero para la toma de datos, la fotogrametría es una buena y fiable herramienta para obtener directamente una rectificación correcta de la geometría principal de dicha arquitectura. El resultado obtenido es suficiente para poder obtener un alzado muy cercano a la realidad, métricamente hablando: anchos, altura máxima que con mediciones directas sería muy complejo de tomar y poco fiable a la vez; ubicación de huecos, etc.

Ya hemos visto que la metodología empleada no ha sido suficiente para obtener el alzado completo, debido a los volúmenes retranqueados. Si no contamos con instrumentos como la pértiga, esta metodología empleada puede ser suficiente dependiendo de los siguientes condicionantes de la fachada a documentar: retranqueos, altura total y amplitud del espacio de toma de datos frente a dicha fachada.

Una vez completado el trabajo, pienso que lo correcto para poder obtener el alzado completo, sería combinar la metodología empleada con el uso de la pértiga (si se dispone de ella), con el objetivo de alcanzar desde la misma distancia de toma de datos empleada (8,50 metros). Aumentando la altura en las posiciones de fotografiado y alcanzar esos retranqueos gracias a la pértiga.

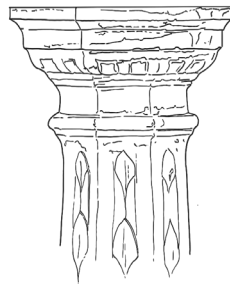
También se podría añadir una segunda secuencia de toma de datos igual a la realizada pero con menos separación. Esto añadiría cantidad de fotografías y la definición de la malla obtenida sería mayor.

La cantidad de fotografías y la cercanía de estas al objeto fotografiado determina en alto grado la definición final de dicha malla, es decir, cuantas más veces aparezca un mismo punto homólogo en las fotografías obtenidas, más densa será la nube de puntos obtenida, y con ello más definición del objeto.

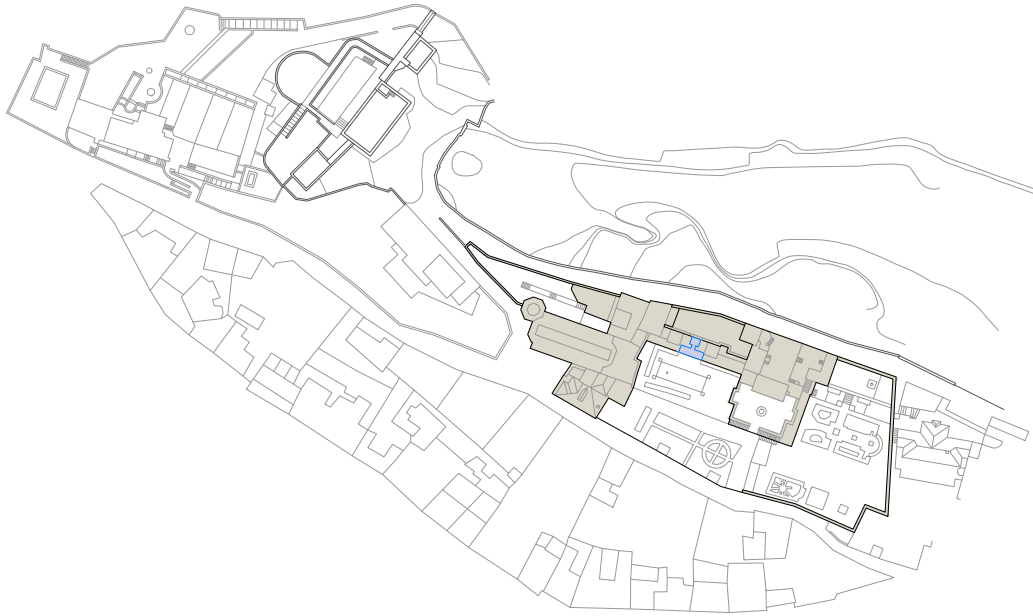
Por lo general, la experiencia ha sido positiva. Se han demostrado los condicionantes adecuados para poder emplear la fotogrametría como herramienta de obtención de ortofotografías de grandes alzados de una manera fiable.

Encontrarte con los inconvenientes en cuestión y trabajar con ellos, nos hace conocedores del origen de dicha problemática generando a su vez una alternativa metodológica como corrección.

9. PATIO DE VENUS. ACCESO A LAS GALERÍAS



Situación



E: 1/2000



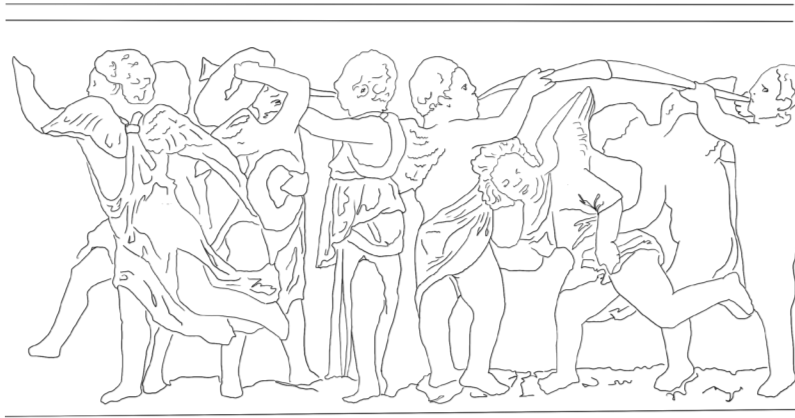
9.1. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVO

Con la intención de evaluar los procesos de levantamiento haciendo uso de la fotogrametría para conjuntos espaciales no tan acotados como en los casos anteriores (portada norte y fachada sur), se ha optado por documentar seguidamente el acceso a las galerías subterráneas desde un lateral del Patio de Venus. La portada que enmarca el acceso porticado desde el exterior, en el que el gran protagonista es el friso en alto relieve del entablamento. (70)

Tras el pórtico, una *logia* es el preámbulo de entrada bajo el terreno natural, cuyo umbral queda enmarcado por un par de columnas dóricas en cada jamba. Seguidamente se llega al zaguán de entrada de dichas galerías, un espacio angosto y abovedado.

Todo este conjunto descrito, nos conduce en un cambio gradual del espacio exterior ajardinado, al interior excavado, con una *promenade* arquitectónica, donde la luz y el espacio van disminuyendo a medida que se recorre. Circunstancias que consideramos hacen de este espacio un referente arquitectónico muy apropiado para evaluar el comportamiento de esta tecnología bajo las condiciones descritas.

A continuación, describimos la toma de datos realizada y el grado de fiabilidad alcanzado en el levantamiento 2D y 3D, tomando como base un hipotético análisis de patologías constructivas del conjunto.





9.2. TRABAJO DE CAMPO

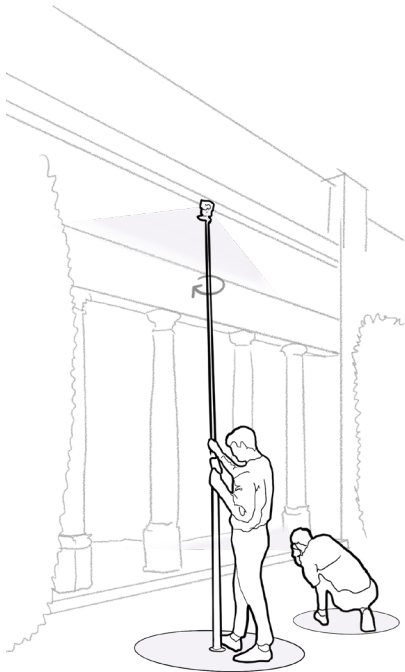
La toma de datos debía ser metódica dado que la superficie a documentar era bastante extensa. Fue preciso una minuciosa planificación que considerase las condiciones lumínicas del entorno y el tipo de herramientas utilizadas.

La toma de datos se inicia desde el exterior, combinando cámara en mano para las zonas bajas de la portada, y el uso de la pértiga para las zonas altas. Las tomas fotográficas, una vez superado el pórtico, dado que el espacio se reducía cada vez más, se realizó con cámara en mano.

Como se indica en la imagen adjunta (71), las fotografías exteriores del pórtico se realizaron a una distancia de 2,50 metros del mismo, con un recorrido de izquierda a derecha, y distanciadas un paso cada una de las diferentes estaciones.

En cada estación de fotografiado se realizaron cuatro fotografías, girando sobre el eje 'z' en dicho punto, y a cinco alturas diferentes: dos con cámara en mano, a unos 50 cm del suelo y a unos 1,50 metros del suelo; y con la pértiga a tres alturas más, siempre las mismas y hasta llegar a fotografiar la parte más alta.

Para la toma de datos una vez pasado el umbral porticado el proceso fue el siguiente: siempre con cámara en mano se escogen unas zonas de fotografiado, igual que antes, separadas entre ellas también un paso, aunque aquí decidí separarlas menos para que el barrido fuera mayor, ya que el espacio se empezaba a encoger.



Por las características tan especiales que presentan los espacios a documentar optamos por realizar barridos esféricos en las diferentes tomas fotográficas. En cada estación, a diferencia del caso anterior, hubo que documentar las superficies en varias direcciones: los planos laterales, frontales y traseros, así como suelos y techos. Es por ello que no sólo hubo que realizar un barrido de 360° en el eje 'z'; en la cota más elevada del barrido también hubo que realizar uno extra apuntando hacia el techo, siguiendo un proceso similar para la documentación de los suelos, aunque en esta ocasión a una cota intermedia.

Durante el proceso descrito, sea cual fuere la estrategia seguida, en todo momento hay que tener en cuenta una circunstancia que se considera esencial en cualquier levantamiento fotogramétrico, y que ya comentamos al comienzo de este trabajo: entre fotograma y fotograma debe existir obligatoriamente un solape mínimo que permita -al software utilizado- detectar los puntos homólogos necesarios para determinar sus respectivas orientaciones. Circunstancia que condicionó en nuestro levantamiento inevitablemente el número de imágenes requerido.

Puede deducirse fácilmente que en fotogrametría el tipo de espacios a documentar determina de forma clara la toma de datos a realizar. También es determinante el grado de iluminación existente en el momento de la toma fotográfica. El trabajo de campo se realizó en este caso un día bastante soleado (13.03.23). La falta de nubes que matizasen la luz y evitasen la existencia de las temidas sombras arrojadas obligó a comenzar los trabajos cuando el azimut solar aún estuviese



bajo. Se esperaba que iniciar los trabajos a las 10:00 horas hubiera sido suficiente, pero a lo largo de la toma de datos, se apreciaba como el sol comenzaba a recorrer el friso de izquierda a derecha avanzando más rápido de lo que se tardaba en cambiar de estación de fotografiado. Esta situación preocupaba en el momento, ya que en muchas fotografías, se podría ver una diferencia muy grande de iluminación de una misma superficie, por ejemplo: el friso, compuesto por una sucesión de figuras en alto relieve, una figura concreta estaba en sombra, y en el siguiente punto de fotografiado ya estaba esa misma figura muy iluminada. Lo que pensé que sería un gran problema para la reconstrucción fotogramétrica a la hora de encontrar esos puntos homólogos.

Aparte de este, hubo dos dificultades añadidas que se apreciaron durante la toma de datos: el cambio de iluminación brusco del exterior al interior, y otra, poder fotografiar adecuadamente toda la superficie en el umbral enmarcado por las cuatro columnas dóricas y en el zaguán abovedado, por ser un espacio tan angosto.

Una ventaja detectada, fue que toda la superficie documentada, presentaba grandes patologías en forma de manchas y humedades, esto ayudaría mucho a la hora de encontrar puntos homólogos.

Y como siempre, no olvidar la medición directa de un par de magnitudes en ambos ejes, para escalar y comprobar posteriormente, que la restitución se ha realizado correctamente.

Todo el trabajo de toma de datos llevó un tiempo de aproximadamente una hora y media.



72

Fotografía del momento de toma de datos con pértiga.



9.3. TRABAJO DE TALLER

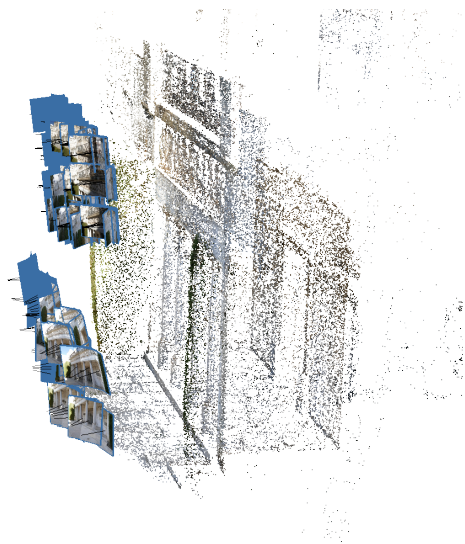
9.3.1. RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA. *AGISOFT METASHAPE*

Para la restitución se contaba con 336 imágenes de todo el conjunto.

El planteamiento inicial fue dividir el proceso en tres grupos de fotografías, tres *chunks*, parecía lo más lógico, debido a la extensión del conjunto, y al cambio brusco espacial y lumínico de un espacio a otro: las fotos del alzado, las del interior del pórtico y umbral, y por último las del zaguán, esos serían mis tres *chunks*.

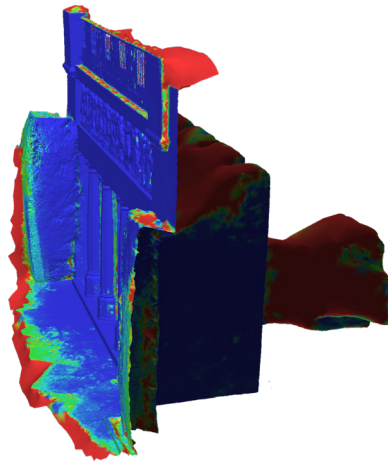
El primer *chunk*, el correspondiente al alzado, se alineó en unos cinco minutos, 184 imágenes (73). Antes de crear la malla, densifico la nube de puntos, para que la malla después se genere con más precisión, lo hago con el parámetro *Quality: High*, un proceso de hasta 1 h 30 min. Después la malla se creó solo en 10 min. El problema detectado durante la toma de datos, del recorrido del sol sobre el friso, no resultó ser ningún inconveniente para el programa y la malla del alzado se ha generado con éxito, al igual que la textura. En concreto el friso, ha quedado muy bien definido. (74)

El segundo *chunk*, cuenta con 110 cámaras (75). Con este segundo grupo se pretende poder cerrar todas aquellas áreas en sombra que se han quedado en el *chunk 1* tras la fusión mediante marcadores manuales. Siguiendo el mismo proceso se obtiene la malla de dicha área. Como ya se predijo durante la toma de datos, se han generado muy bien las



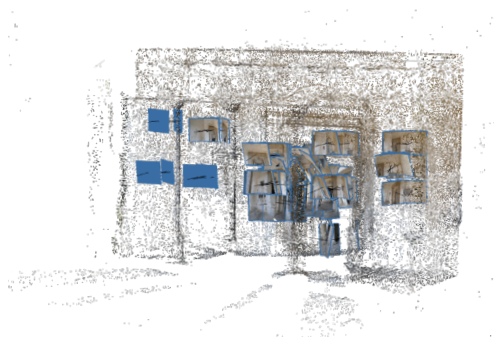
73

Nube de puntos y ubicación de cámaras *chunk* 1: Nube de puntos generada con la alineación de las primeras cámaras para el *chunk* 1, frente al alzado principal.



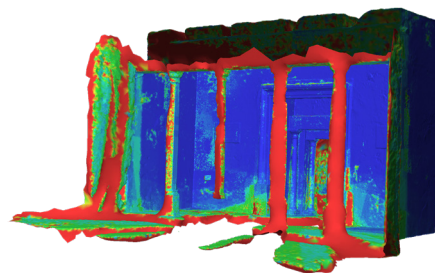
74

Malla *chunk* 1: se ve que toda la parte interior del conjunto queda sin definir, con el *chunk* 2 se pretende completar estas áreas.



75

Nube de puntos y ubicación de cámaras *chunk* 2: Nube de puntos generada con la alineación de las cámaras para el *chunk* 2, tras el pórtico.



76

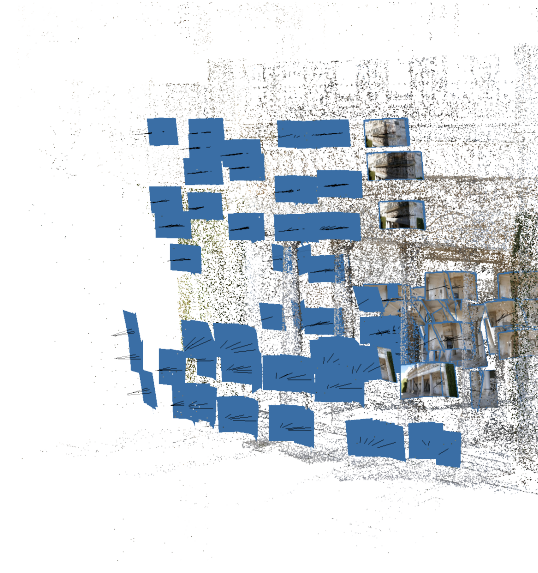
Malla *chunk* 2: Las vigas del techo se han conseguido reconstruir, así como la trasera de las columnas. También las columnas de las jambas que dan acceso al zaguán.



paramentos con patologías severas, mientras que el umbral ha costado que se genere adecuadamente, se intuye como es su forma original, pero debido a las condiciones de la toma de datos, ya se esperaba una menor definición de esta parte. En el mapa de calor de este segundo *chunk*, como es obvio, lo que esta en ‘sombra’ (rojo) es lo que en el *chunk 1* estaba ‘iluminado’ (azul). (76)

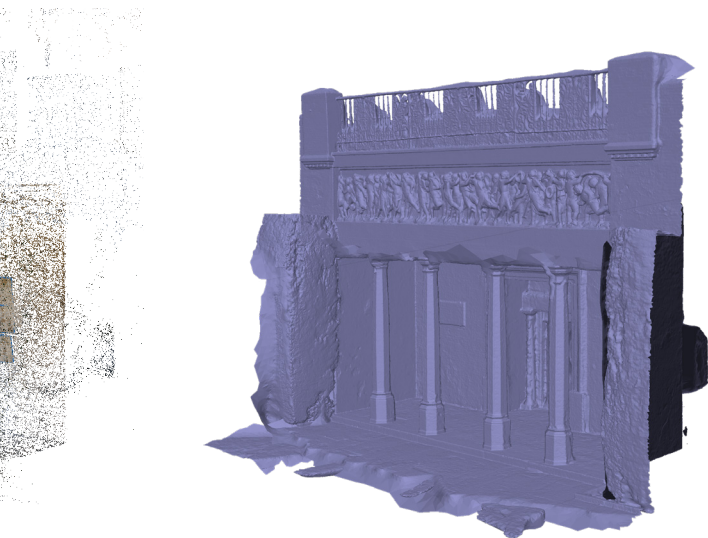
Antes de generar el *chunk 3*, correspondiente al zaguán abovedado, se fusionaron estos dos *chunks*, para ver el resultado y que no se generase ningún problema en la unión.

Creamos marcadores manualmente, que aparezcan en ambos *chunks*, alineamos las mallas, y después se fusionaron: *Merge chunks*. Se alinearon, orientaron y fusionaron con éxito (77), a excepción de un gran error notable tras generar la malla: el alzado principal, generado con éxito con el *chunk 1*, se ve contaminado en el contacto con el *chunk 2*, bajo el dintel del pórtico, como podemos ver en las imágenes de la derecha. (78-79)



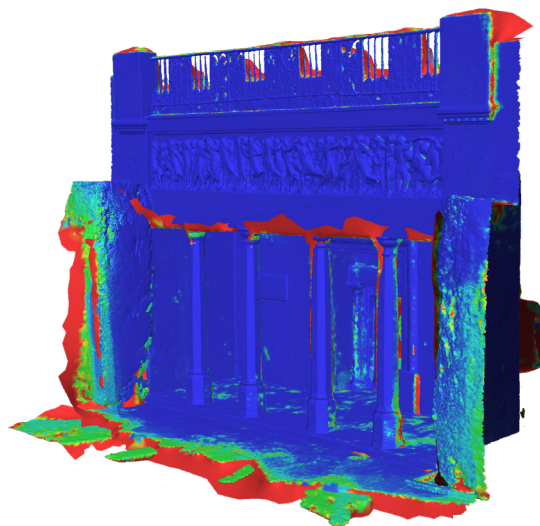
77

Nube de puntos y ubicación de cámaras de *Merged chunks*.



78

Malla Merged *chunks*.



79

Malla Merged *chunks*. Mapa de calor

El alzado principal se ha visto contaminado en las zonas de contacto, como se aprecia claramente en la parte baja del dintel del pórtico.



Fundamentación Empírica

Patio de Venus - Acceso a las Galerías

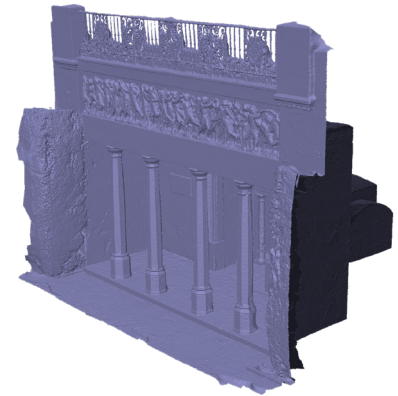
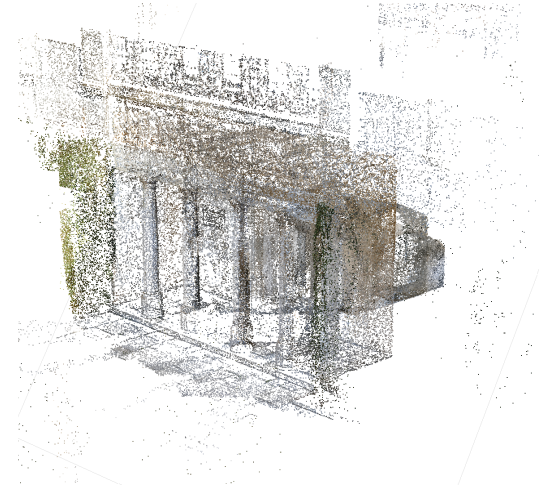
Se probó con un segundo método, intuyendo que podría funcionar. Intuí que el problema generado anteriormente surge en el momento de buscar los marcadores manualmente, y fusionarlos a partir de ahí. Me pregunté que pasaría si todas las imágenes las alineo de golpe, con la premisa de que el programa tendría mas datos para encontrar esos puntos homólogos en todo el conjunto, en total serían 336 cámaras, ya que lo iba a probar, lo intentaba también con el *chunk 3* que no llegué a alinear previamente, el inconveniente de esto es que sería un proceso largo.

Tras veinte minutos se consiguió alinear el 100% de las cámaras, produciendo de primeras una nube de puntos prometedora, donde se identifica muy bien el conjunto. (80)

Ahora, el proceso de densificación de la nube de puntos fue de 2 h 15 min, tras la creación de la malla, se puede deducir que este tiempo de trabajo densificando previamente la nube de puntos, merece la pena gracias a la definición que adquiere dicha malla.

Los elementos que más preocupaban del alzado han quedado muy bien definidos: el friso y barandilla superior. El umbral de acceso al zaguán ha quedado menos definido, por la dificultad mencionada en la toma de datos, al igual que en el propio zaguán, pero la forma del conjunto se entiende.

Se escala con las medidas tomadas, se comprueba con las otras en diferente eje que está proporcional, y ya tendríamos el archivo preparado para usarlo como referencia en nuestro levantamiento.



80

Nube de puntos y malla resultante

Todo el conjunto ha quedado muy definido, a excepción del arco en el umbral de acceso al zaguán.



81

Malla con textura de todo el conjunto.
Resultado final de la restitución a partir de *SfM*
mediante *Agisoft Metashape*



Fundamentación Empírica

Patio de Venus - Acceso a las Galerías



82

SECCIÓN TRANSVERSAL

Sección Transversal de la malla con textura de todo el conjunto.



83

PLANTA

Planta de la malla con textura de todo el conjunto.



84

AXONOMETRÍA SECCIONADA LONGITUDINALMENTE.

Axonometría seccionada de la malla con textura de todo el conjunto.



9.3.2. DOCUMENTACIÓN 2D Y 3D

Contar con una malla completa de todo el conjunto a documentar, hizo nuestro levantamiento planimétrico un trabajo más preciso, puesto que en todo momento se va comprobando lo dibujado con la realidad trasladada a la malla de referencia. Se calca directamente la realidad.

Anteriormente se ha visto que, algunas zonas de la malla pueden quedar menos definidas, esto no tiene por que ser un problema grave, dependiendo siempre del grado de error y al detalle al que se quiera llegar, el propio levantamiento a partir de la fotogrametría nos sirve para poder corregir esas zonas menos definidas, e interpretar la realidad que allí existe.

En la sección longitudinal, se puede observar, como la malla no se generó bien en el primer arco del umbral, siguiendo el sentido de entrada a las galerías. (86)

Dicha deformación en la malla, no fue ningún inconveniente, ya que al ser una geometría sencilla (un arco), haber estado documentando el lugar y conocer como era realmente, facilita el levantamiento rectificando el error de la malla. Poder contar con la malla tridimensional del conjunto, y poder manipularla a tu antojo, te permite intuir y conocer esos elementos menos definidos, dentro de unos límites. Así es como detecté, que una patología que pasaba desapercibida en el otro lado del muro, iba a decirme la geometría exacta de este arco que había quedado deformado en la malla. (87-88)



85

Capturas del proceso durante el Levantamiento 2D.
Alzado.
Calcando la realidad.



87

Detalle de la captura durante el proceso de levantamiento 2D.
Sección transversal tras el pórtico.
Se aprecia la patología en forma de arco sobre el dintel de piedra.



86

Capturas del proceso durante el Levantamiento 2D.
Sección Longitudinal.
Calcando la realidad.



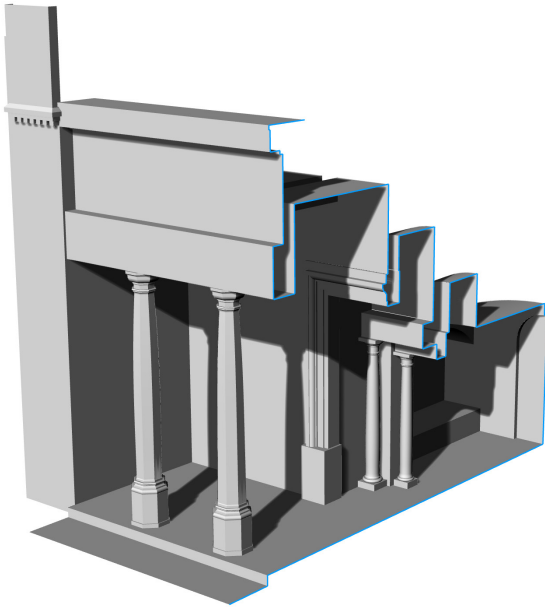
88

Detalle de la captura durante el proceso de levantamiento 2D.
Sección transversal tras el pórtico.
Patología en forma de arco sobre el dintel de piedra marcada.



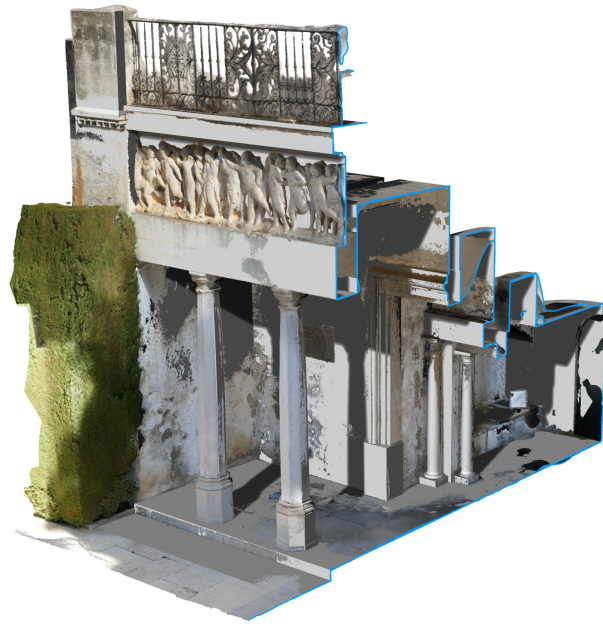
En cuanto al modelado tridimensional, haber documentado las vistas (planta, alzado y secciones) de todo el conjunto calcando las proyecciones de la malla, nos facilita en cierta medida el proceso de modelado, aumentando al mismo tiempo la precisión de resultado obtenido. Lo positivo de hacer así el proceso, es que a la vez que vas modelando en base a las vistas ya realizadas sobre la malla, el modelo obtenido se va sobreponiendo a la malla, pudiendo comprobar en tiempo real, que cada elemento modelado se superpone de una manera coherente con la malla de referencia, como ocurre (90). En definitiva, seguimos calcando la realidad, pero ahora tridimensionalmente.

Comparando este levantamiento con uno que se realizaría a partir de toma de datos directa, nunca se podría llegar al detalle y precisión con el que se llega a partir de un malla obtenida por fotogrametría, sobre todo en aquellos elementos con formas más orgánicas, como es en este caso: el friso, los capiteles, el fuste o la barandilla; y por supuesto, una toma de datos directa de todo este conjunto para llegar a un detalle parecido, sería muy tediosa, en comparación con la aquí realizada.



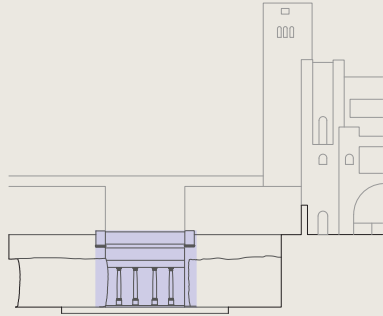
89

Capturas del proceso durante el levantamiento 3D.
Modelo.
Calcando la realidad.

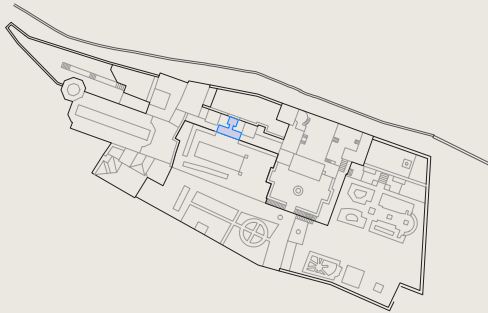


90

Capturas del proceso durante el levantamiento 3D.
Superposición entre modelo y malla referencia.
Calcando la realidad.

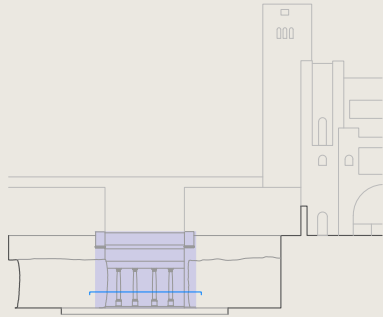


Alzado

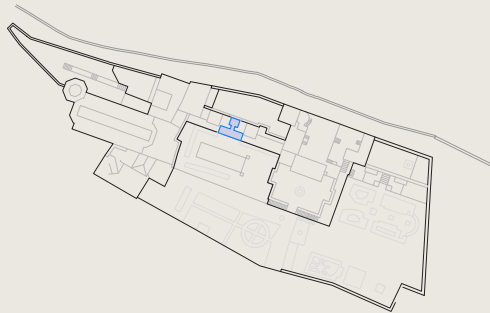


E: 1/50

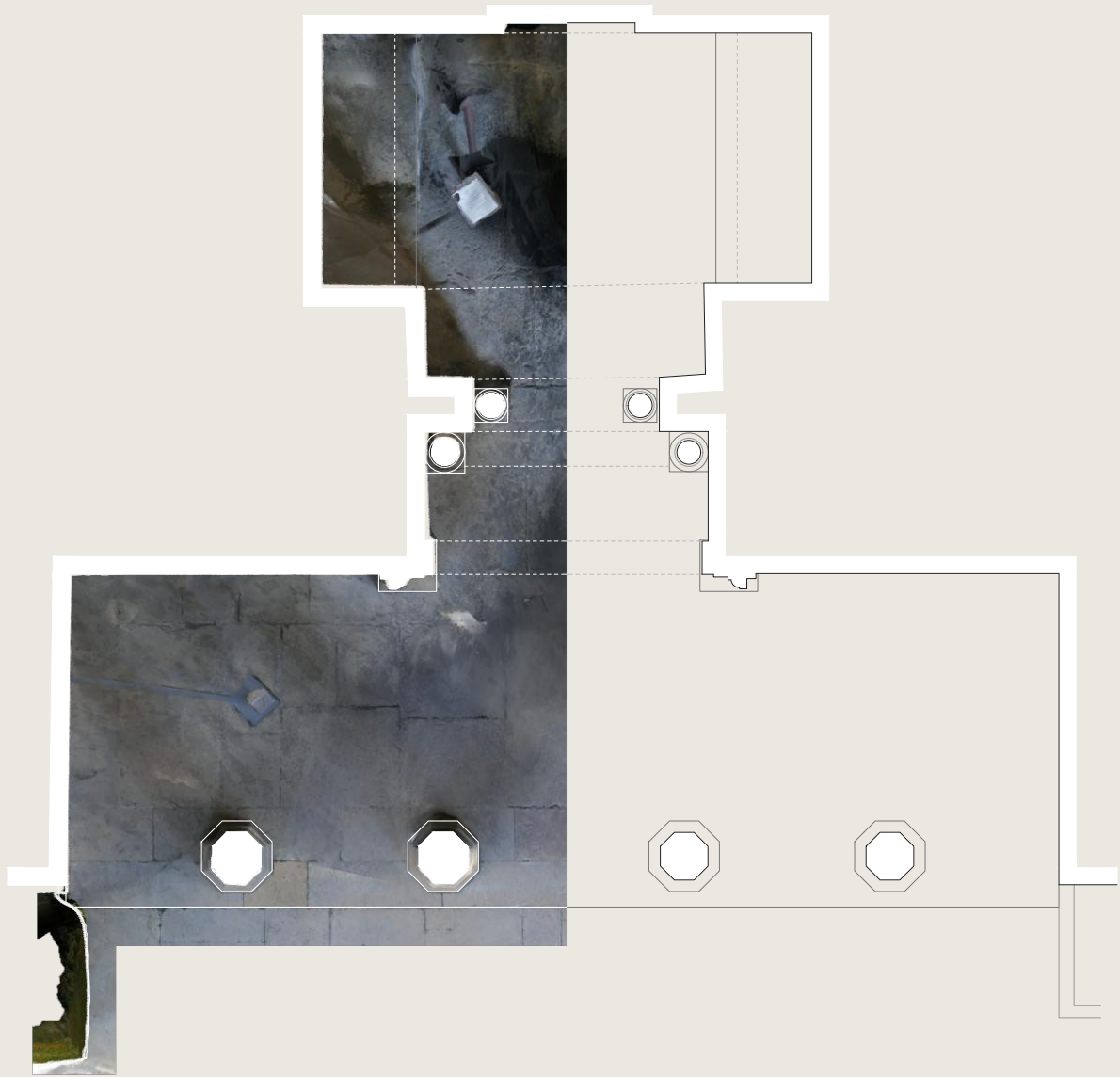


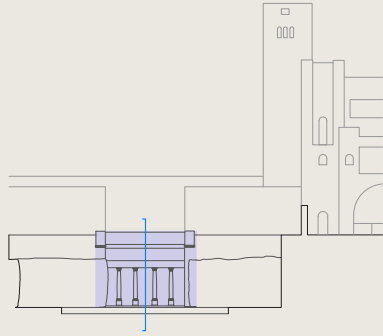


Planta

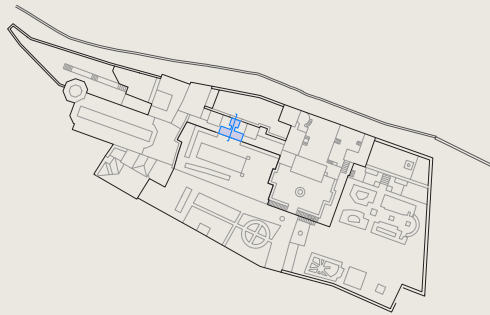


⌚ E: 1/50



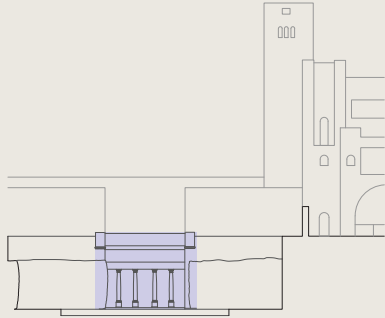


Sección Longitudinal

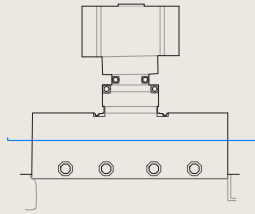


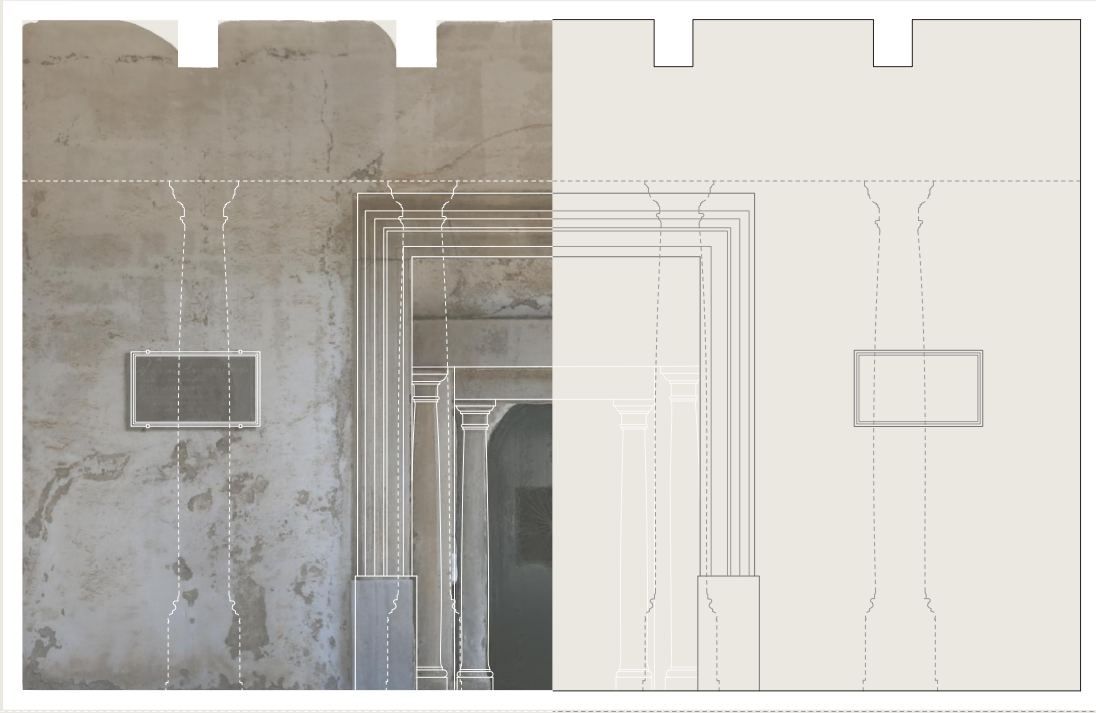
E: 1/50

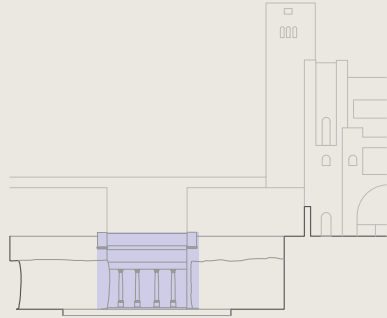




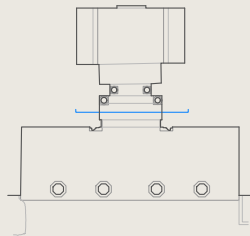
Sección Transversal
tras el pórtico



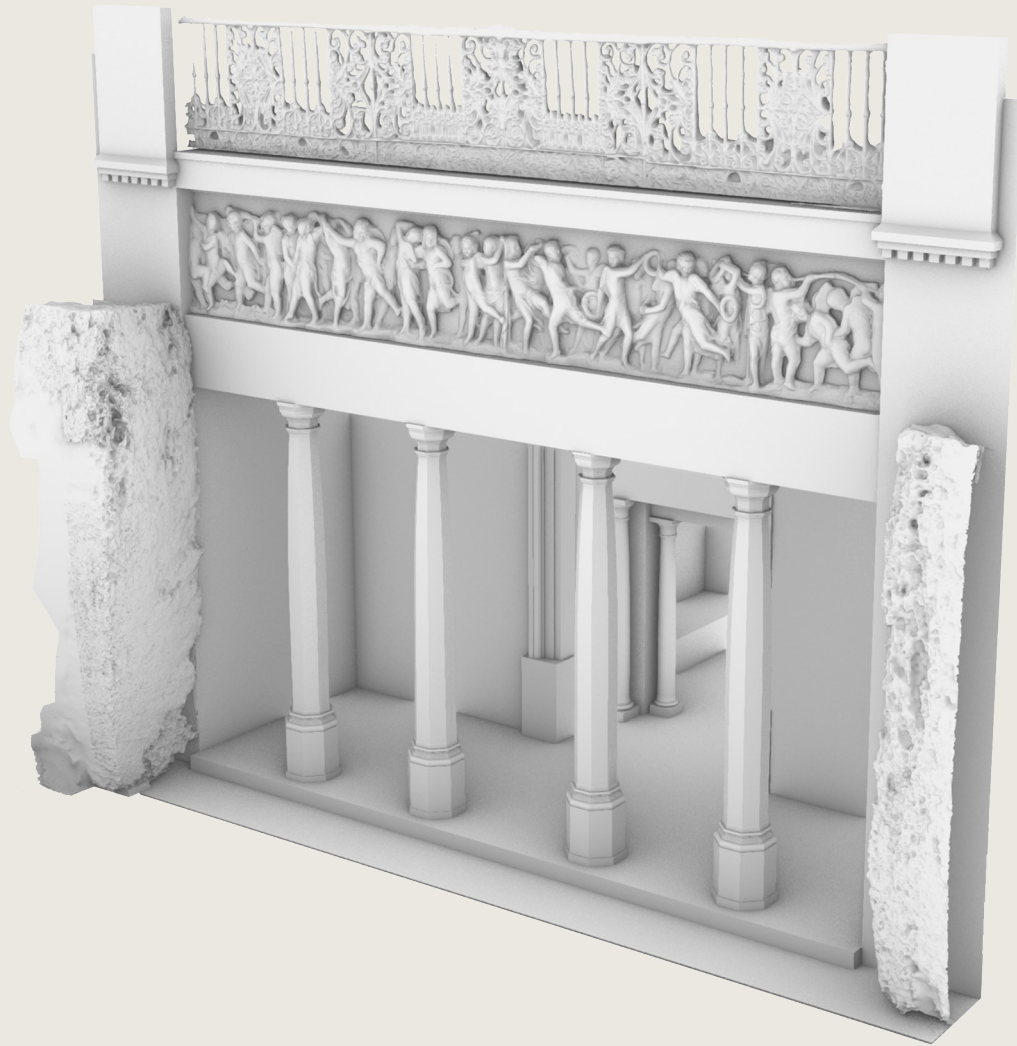




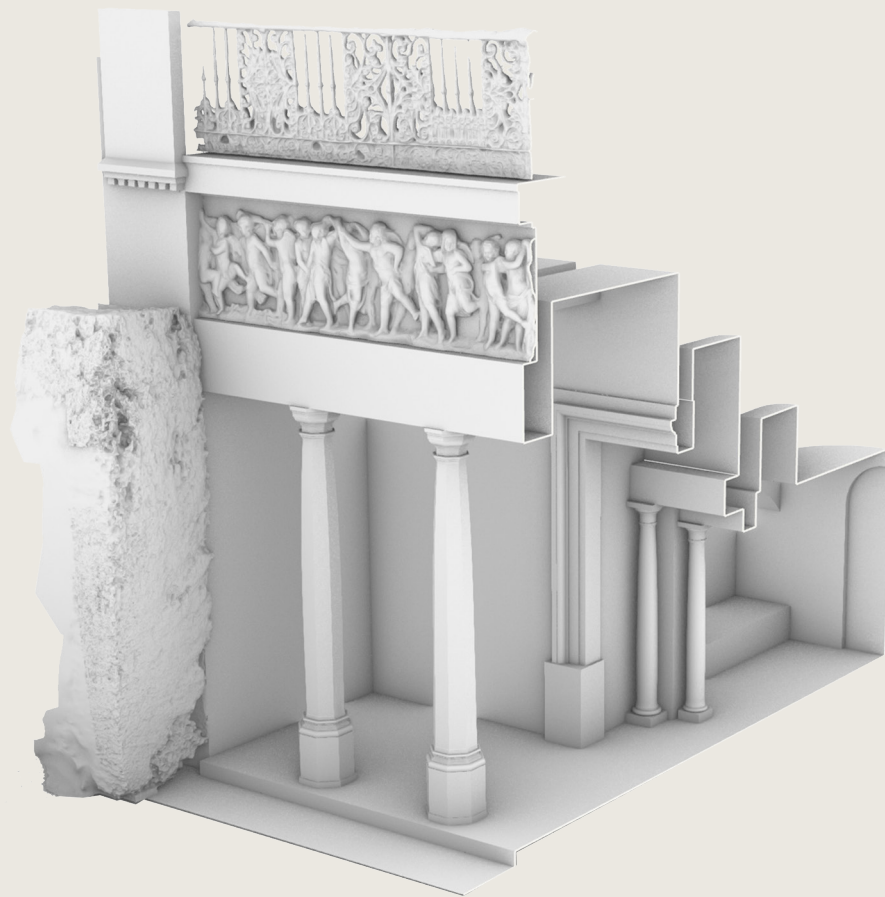
Sección Transversal
primer arco del umbral





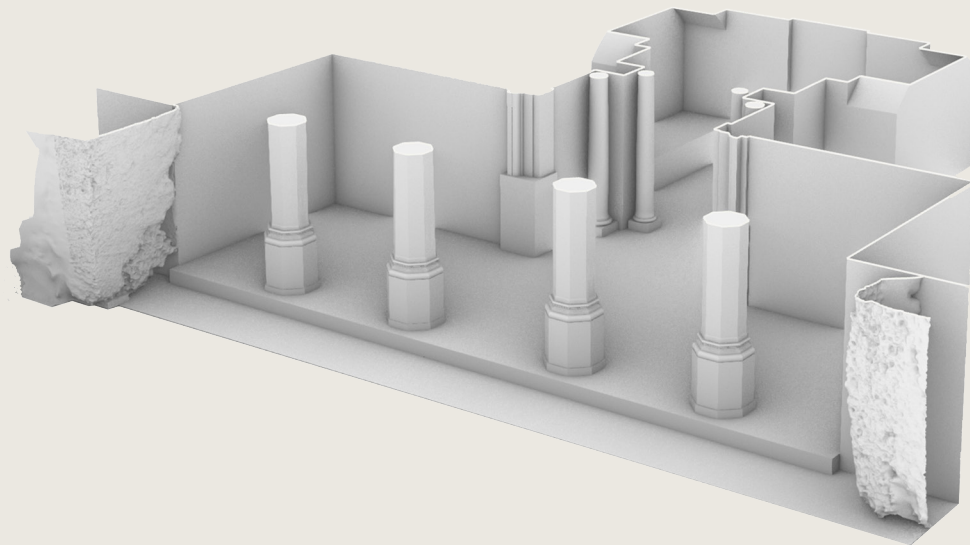


Axonometría

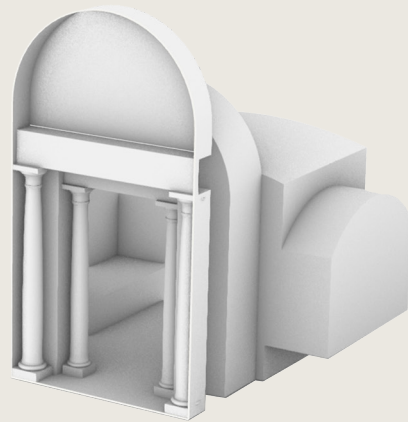


Axonometría

sección longitudinal



Axonometría
sección horizontal



Axonometría

sección transversal por el umbral



9.3.3. ANÁLISIS DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

A menudo los levantamientos gráficos del Patrimonio Arquitectónico están predestinados a analizar su estado de conservación y, de ser necesario, servir de base documental para una hipotética intervención.

La documentación obtenida tras nuestro levantamiento fotogramétrico nos permitiría conocer de forma precisa la ubicación de las posibles patologías existentes, así como su grado de afectación. Ya que, se trata de un modelo tridimensional mallado y texturizado fielmente a la realidad (obtenida a partir de nuestras fotografías *in situ*). Modelo del que se han podido extraer fotoplanos a escala de las superficies documentadas, donde se pueden detectar con facilidad síntomas que evidencian la existencia de patologías relacionadas con su estado de conservación (como pudieran ser humedades, grietas, deformaciones estructurales, etc.).

- Patología A
- Patología B
- Patología C
- Patología D
- Patología E



⊙ E: 1/50

Patologías

Sección transversal tras el pórtico



9.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo hemos descrito cómo se ha documentado, mediante técnicas fotogramétricas, un espacio patrimonial de cierta complejidad. Se ha obtenido una planimetría (fotoplanos) a escala 1/50 caracterizada por una precisión y exactitud métrica tal que permite abordar de forma adecuada los análisis que así lo requieren. Se han podido describir los altorrelieves esculpidos en el friso, los elementos de forja de la barandilla, ciertos espacios especialmente complejos y angostos, sin olvidar aquellos elementos vegetales que jalonan la portada a ambos lados. Elementos que difícilmente hubiesen podido documentarse tal y como se ha hecho mediante otro tipo de procedimientos de medición directa.

Durante el procesado de las imágenes hemos podido comprobar que, cuando el número de fotografías tomadas ronda las 300 o 400, el *software* utilizado puede sin ningún problema alinearlas sin la necesidad de trabajar con *chunks*, aunque los espacios documentados presenten características tan diferenciadas. Creo, que esto es debido a que, al separar las 300 o 400 fotografías en *chunks* diferentes, estos grupos se quedan con pocas imágenes, entorno a 100 o menos, dependiendo de la agrupación, y los puntos homólogos encontrados son menos. Esto se seguirá poniendo a prueba en los capítulos siguientes.

Mediante una sola toma de datos, que llevó un tiempo de hora y media aproximadamente, teniendo en cuenta que el conjunto a documentar cuenta con 25 m² útiles, y la posterior restitución para obtener el modelo de referencia, se ha po-

dido obtener una documentación muy precisa y fiable, que además cuenta directamente con la ortofoto proyectada.

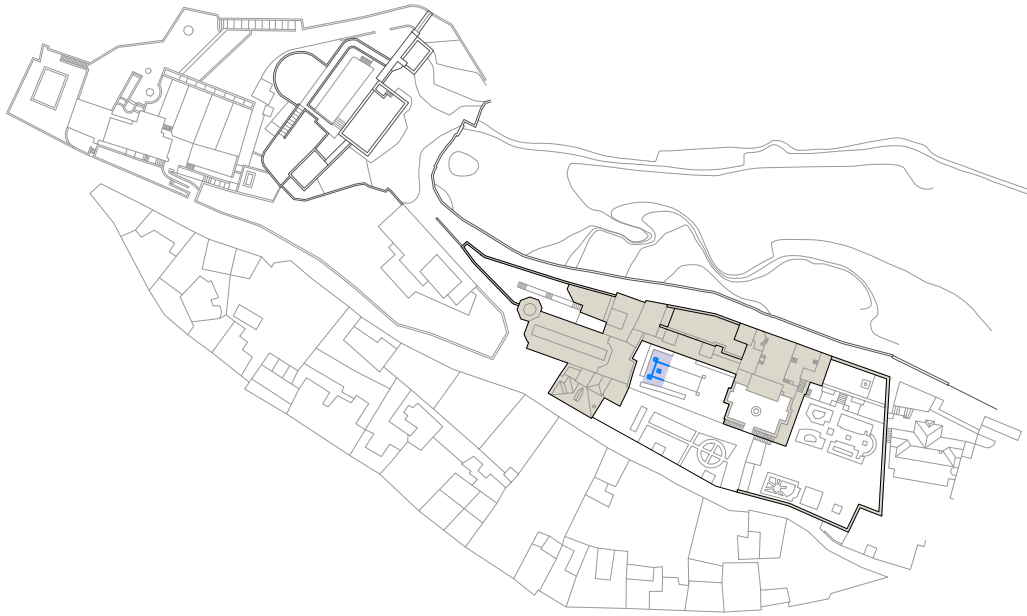
Podemos concluir, a raíz de los resultados obtenidos, que la fotogrametría, nos aporta con una toma de datos sencilla y metódica, un amplio conjunto de posibilidades en el ejercicio del levantamiento arquitectónico, pudiendo llegar al detalle deseado en la representación bidimensional, así como obtener un modelo tridimensional del conjunto fácilmente, lo que ayuda en el entendimiento y gestión de nuestro Patrimonio Arquitectónico.

Poder obtener una documentación planimétrica como esta del Patrimonio Arquitectónico, facilita su análisis y gestión (como en el ejemplo realizado), así como aumentar el valor del referente patrimonial en cuestión.

10. ESTATUAS Y ESTANQUE. EL PATIO DE VENUS



Situación



⌚ E: 1/2000



10.1. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVO

Junto a la portada en el Patio de Venus ya documentada en el apartado anterior, un estanque rectangular con estatuas marca el eje longitudinal del patio. En cada uno de sus vértices una columna coronada por una escultura tallada. Del interior del estanque, marcando dicho eje, emerge la escultura central. (91)

Debido al atractivo visual y artístico de este conjunto espacial, junto al objetivo principal de experimentar con la fotogrametría documentando un espacio cuya superficie principal es el agua, teniendo en cuenta los fuertes reflejos que se producen. ¿Será un inconveniente en la búsqueda de puntos homólogos -para el *software* empleado- y su correspondiente formación del archivo tridimensional?

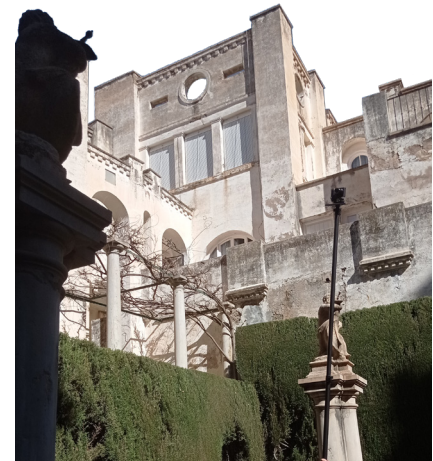


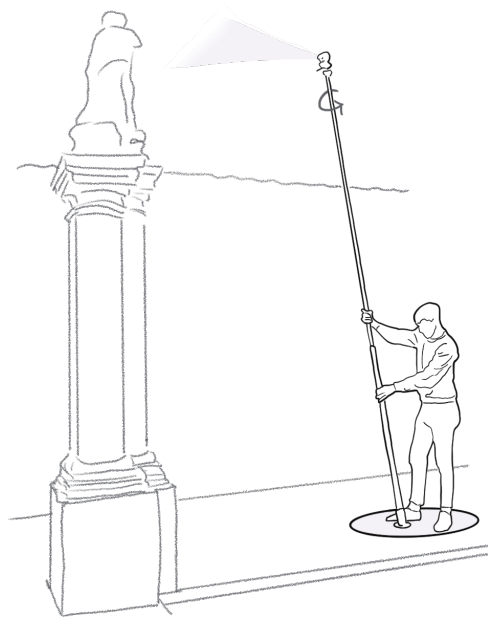


10.2. TRABAJO DE CAMPO

La metodología para abordar la documentación de este conjunto se planificó en el momento de encontrarnos allí y ver el interés que tendría documentar las esculturas junto a la lámina de agua. La metodología a seguir fue realizar un recorrido circular alrededor de cada una de las esculturas, con la limitación evidente del poco espacio de dicho recorrido entorno a estas, debido al estanque; y seguidamente un recorrido general de todo el conjunto, con la intención de alinear en *Metashape* a partir de esos conjuntos como *chunks*.

El recorrido circular, se haría como todos los anteriores: estaciones fotográficas separadas entre sí, esta vez menos de un paso (por el poco espacio), en las que se emplean varias alturas (agachado, cintura, cabeza, y dos alturas más empleando la pértiga) y en las que en cada una se gira sobre el eje 'z'. (93)





93

Situación en uno de las estaciones fotográficas alrededor de una de las esculturas. Usando el pie de la pértiga para pivotar y acercar la cámara a la escultura.



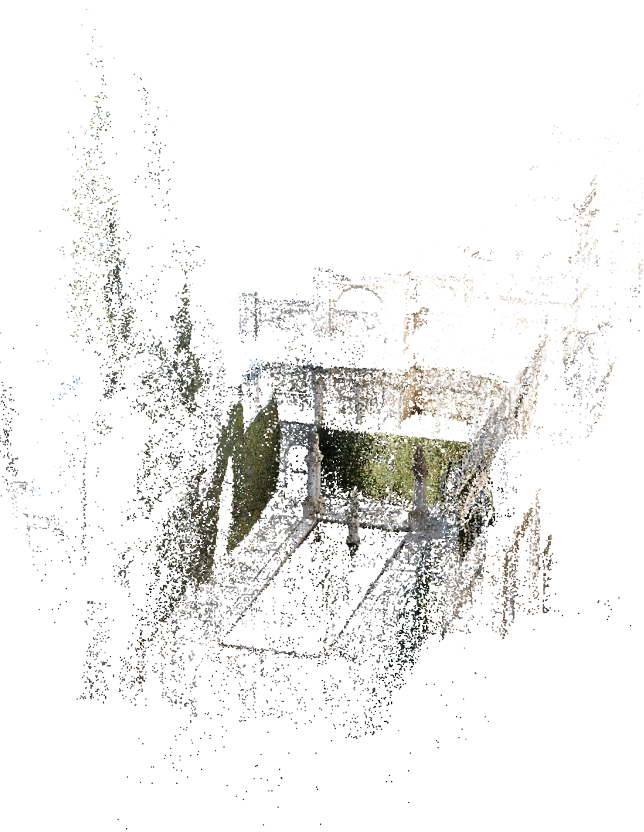
10.3. TRABAJO DE TALLER

Cómo se ha expuesto anteriormente, en el momento de toma de datos, la idea fue la de alinear posteriormente por *chunks* en *Metashape*, los mismos *chunks* que grupos de fotografías había realizado: uno por cada recorrido circular alrededor de cada estatua, y uno más del conjunto. Cuatro *chunks* en total, de unas 50 imágenes cada uno, más o menos, a excepción del recorrido global que era de menor extensión. En total, se contaba con 174 imágenes.

Pero, como hemos concluido en el apartado anterior, en la portada y acceso a las galerías, cuando se trata de un conjunto de imágenes con puntos homólogos fáciles de reconocer, y no es una cantidad superior a un rango establecido de 300 o 400 imágenes, se decidió finalmente volver a probar que tal respondía el programa procediendo a alinear todo el conjunto de imágenes a la vez.

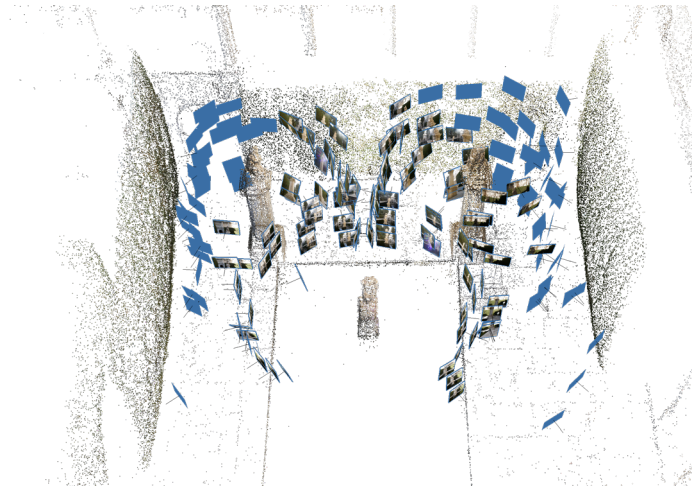
La alineación de todas las fotografías fue rápida y en la nube de puntos obtenida se conseguía reconocer a la perfección el volumen de las tres esculturas, el perímetro del estanque y sorprendentemente, llamó mucho la atención como se había construido todo el entorno, del cual no se buscaba nada en concreto, pero solo de haber realizado trayectorias circulares había quedado bastante bien definido. En principio, no parecía haber ningún problema con el estanque y sus reflejos.

Antes de generar la malla, densificamos la nube usando el parámetro '*Quality: High*', proceso que se llevó 2 horas de duración y que nos facilita y mejora la formación de la malla.



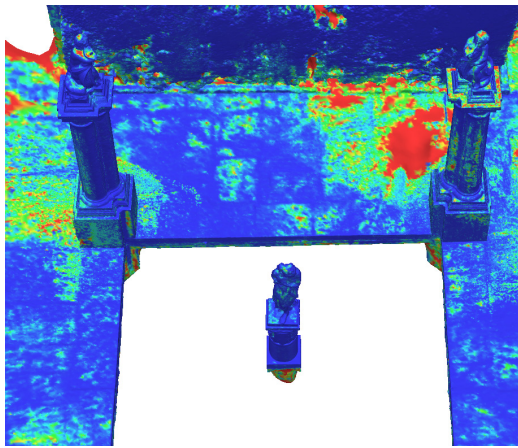
94

Nube de puntos obtenida con la primera alineación de las 174 imágenes. Se aprecia perfectamente el entorno de todo el Patio de Venus.



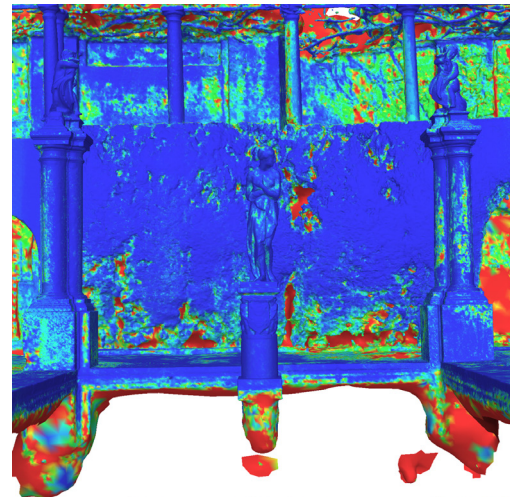
95

Detalle de la misma nube de puntos y ubicación de las cámaras entorno a las estatuas.



96

Mapa de calor sobre la malla obtenida.



97

Detalle del mapa de calor sobre la malla obtenida. Podemos apreciar como se han representado los reflejos sobre el estanque. La lámina de agua se ha obviado, simplemente es un vacío.



98
Malla con textura.



99
Detalle de la malla con textura.
Los reflejos quedan como volúmenes mal formados.



Fundación Empírica

Estanque y estatuas. El Patio de Venus





101

ALZADO

Malla con textura vista frontal.



10.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tras haber realizado la documentación y restitución de este conjunto escultórico junto al estanque, podemos reafirmar que con un pequeño conjunto en el que se han obtenido un rango inferior a 300 imágenes, realizar la alineación en un único *chunk* resulta más rápido y sencillo, obteniendo un mejor resultado.

La presencia de elementos altamente reflexivos, como en este caso la lámina de agua, *Metashape* los obvia generando los reflejos como sólidos, esto no debería de suponer un problema a no ser que el elemento reflexivo sea el objeto a documentar, porque como se acaba de ver, el *software* obvia por completo la existencia de la lámina de agua.

Por otro lado, cabe destacar lo sucedido con la obtención de la primera nube de puntos al alinear las imágenes, como la totalidad del entorno se había generado en esa nube de puntos. Me demuestra que con unos pocos más de recorridos circulares distribuidos debidamente por el patio, se hubiese podido obtener una malla muy detallada de todo el conjunto espacial.

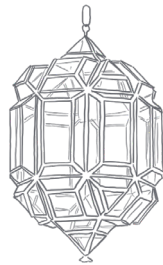


102

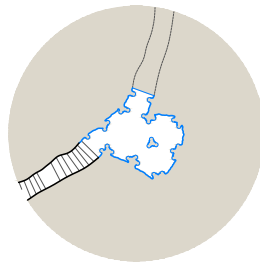
PLANTA

Malla con textura vista superior.

11. GALERÍAS SUBTERRÁNEAS



Situación





11.1. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVO

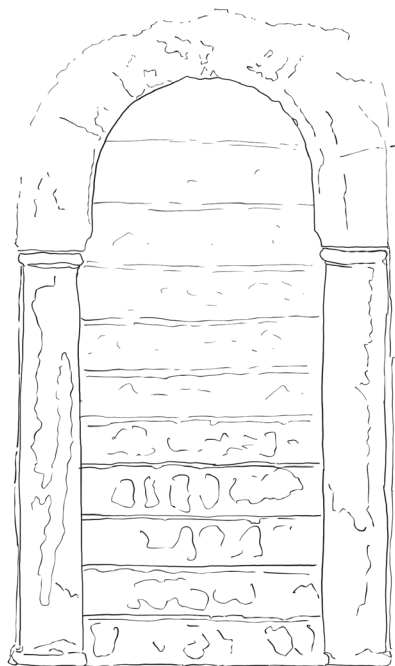
Continuando tras el zaguán abovedado que ya ha sido documentado y estudiado en el apartado nueve (Portada del Patio de Venus y acceso a la Galerías) nos adentramos en un espacio excavado por el cual se comienza a descender rápidamente. Un túnel en el que sucesivamente, a lo largo de las escaleras descendentes, dos columnas unidas por un arco va rigidizando el abovedado que conforma el espacio enterrado.

Llegado un momento, las escaleras se detienen en un vestíbulo de especial encanto. Un espacio de planta hexagonal, en el que en cada lado de dicho hexágono se sitúa un juego de pares de columnas unidas por su correspondiente arco, igual que los que se sucedían en la bajada y rigidizaban el túnel excavado (103). Esta arcada, formada siguiendo el perímetro del hexágono en planta, sustenta una bóveda de bastante altura aliviando la sensación angosta de la anterior bajada.

Dos de esos pórticos laterales se abren a pequeños ábsides de planta trapezoidal también abovedados. Y por otro lateral, la escalera continúa descendiendo.

En este espacio acotado, es donde se evaluará la capacidad de la fotogrametría para poder documentar un espacio con unos condicionantes tan adversas *a priori*, para una documentación basada en la fotografía: un espacio angosto, con una iluminación irregular debido a que el espacio está iluminado artificialmente de una manera muy tenue y la superficie es muy homogénea en todo el conjunto.

A pesar de la dificultad que pone el entorno, se pondrá un especial empeño en la metodología empleada en el trabajo de campo para que el archivo generado posteriormente esté lo más definido posible. Con el objetivo de usar la malla generada, como origen de una infografía que muestre el espacio y sus irregularidades, empleando este tipo de documentación gráfica como medio de difusión del Patrimonio Arquitectónico.



103

Arco y columnas que se suceden en la trayectoria de las escaleras en las galerías subterráneas y que sustentan a la vez la bóveda del vestíbulo a documentar de planta hexagonal.



11.2. TRABAJO DE CAMPO

Debido al objetivo propuesto en este espacio, la toma de datos debía ser muy exhaustiva. No podía dejar superficie alguna sin fotografiar. Por ello, dividí el trabajo en tres etapas: paramentos verticales, suelo y techo.

Un factor que me preocupó en el momento de toma de datos, es que había zonas demasiado oscuras, y otras relativamente bien iluminadas. En el momento se decidió, que esas zonas oscuras debían ser fotografiadas con *flash*, y para las otras superficies mejor iluminadas no se podía usar porque la imagen quedaba 'quemada'. Lo que me hizo pensar que se produciría una brecha de puntos homólogos en el cambio del uso del *flash* y de no. Pensé que podría generarse un problema severo en estos puntos a la hora de la alineación.

En la primera etapa, fui recorriendo el perímetro a base de estaciones de fotografiado. En cada estación realizaba fotografías a varias alturas, siempre con cámara en mano, y en 360° alrededor del eje 'z', no sólo apuntando al paramento más cercano. Esta etapa fue la que se llevó mas tiempo, entorno a cuarenta minutos de toma de datos.

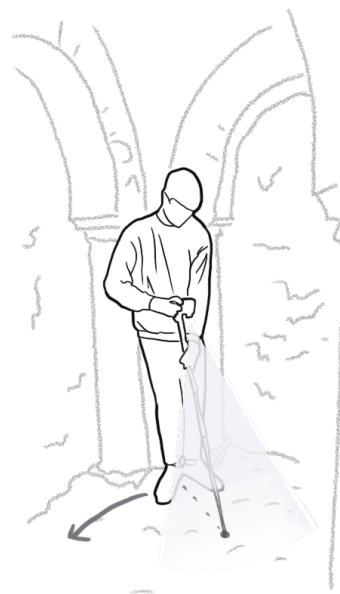
Para la segunda etapa, correspondiente al suelo, usé el accesorio del trípode, que viene a tener un uso similar a la pértiga pero a menor escala. Pivotando en el centro del hexágono, y de cada ábside, a una misma altura y apuntando al suelo, iba girando y documentando todo el pavimento (105), buscando en las fotografías no se viese solo pavimento, sino que se relacionara sensiblemente con la base del paramento vertical.



104

Fotografía tomada durante el proceso de fotografiado de la cúpula usando el accesorio de trípode.

Y para la última etapa, destinada a dejar bien documentada las bóvedas. Esta vez, el accesorio de trípode lo sujetaba a pulso, para elevar la cámara sobre mi cabeza, y era yo el que giraba alrededor de la bóveda apuntando la cámara al centro de esta. (104)



105

Posición de fotografiado del pavimento empleando el uso del accesorio de trípode para pivotar sobre el eje central.



11.3. TRABAJO DE TALLER

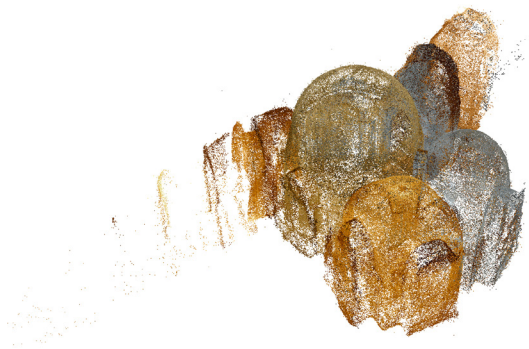
11.3.1. RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA. *AGISOFT METASHAPE*

Después de un exhaustivo trabajo de campo, se contaban con un total de 441 imágenes. Para un espacio tan acotado como este, demuestra, que aquí la densidad de fotografiado ha sido mucho mayor que el empleado por ejemplo, en el apartado número 9, donde la extensión de superficie era sensiblemente mayor y se obtuvieron un total de 336 imágenes.

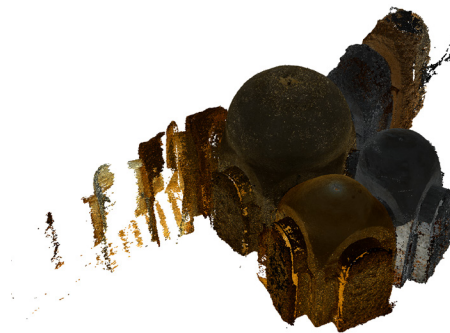
Previamente ya se ha mencionado, como no hay problema en alinear todo un conjunto de imágenes que se encuentra en un rango de 300 o 400 imágenes. Aun que se supere por un poco, de primeras se probó con alinear el conjunto completo.

El tiempo de alineación fue de unos veinticinco minutos. Y la nube generada ya era muy densa y se identificaba perfectamente todos los volúmenes. También se podía identificar a la perfección por el cambio de la tonalidad, esas zonas oscuras que fueron fotografiadas con *flash*. (106)

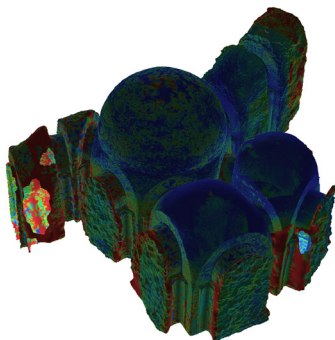
A pesar del positivo resultado con la primera nube de puntos, ya que en los trabajos anteriores había ido bien densificando dicha nube, aquí también se hizo, y también con el parámetro '*Quality: High*', proceso que alcanzó las dos horas y media (107). Y como siempre, generamos la posterior malla, que fue un proceso de unos veinte minutos, aproximadamente. (108-109)



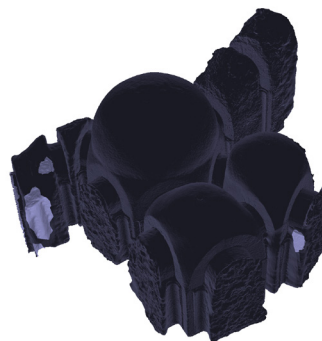
106
Nube de puntos generada con la primera alineación.



107
Nube de puntos densa. 'Quality: High'



108
Mapa de calor sobre la malla obtenida.



109
Malla completa sin textura.



11.3.2. DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO

En el apartado número 9, la portada del Patio de Venus y el acceso a las galerías, vimos como se documentó bidimensional y tridimensionalmente usando como referencia la malla obtenida del conjunto, calcábamos la realidad. Aquí, con la mallada obtenida, podríamos hacer lo mismo, obtener una planimetría base de todo el conjunto tanto bidimensional como tridimensional pero, debido a las características de este espacio, esas irregularidades y texturas que están presentes en todo el conjunto, el objetivo en este apartado se consideró, obtener una malla lo más definida posible, para trabajar directamente con ella, y obtener una infografía arquitectónica manteniendo la textura real del espacio.

Cómo hemos visto, la malla ha quedado suficientemente definida, así como la textura (110), como para obtener una infografía de calidad que nos describa este espacio.

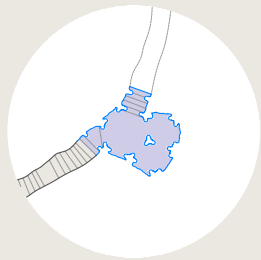
Este tipo de infografías son muy útiles para la difusión del patrimonio. Conseguir hacer llegar a todo tipo de personas interesadas en el arte y la arquitectura, sin necesidad de ser expertos en la materia y entender planimetrías arquitectónicas, por ejemplo.



110

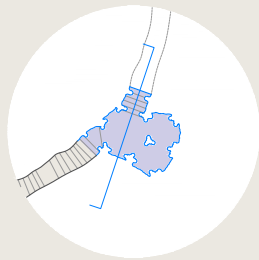
Malla y textura de todo el conjunto espacial.

173



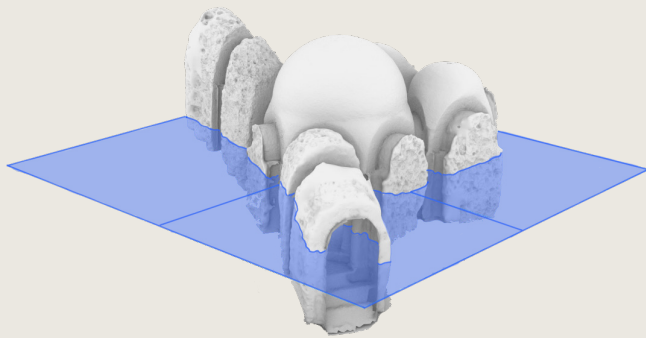
Planta



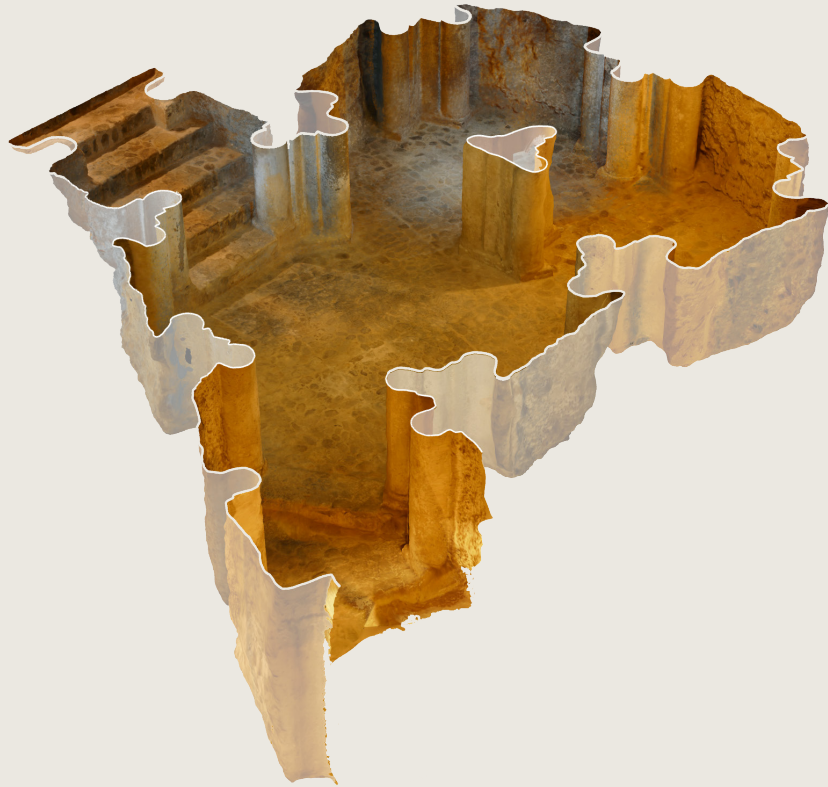


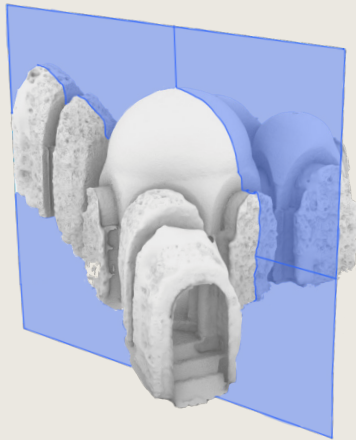
Sección longitudinal





Axonometría
seccionada horizontalmente





Axonometría
seccionada longitudinalmente





11.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de poder ver la definición del resultado obtenido, podemos concluir que la fotogrametría es una herramienta idónea para la toma de datos en un espacio irregular y complejo como este.

Antes de abordar el trabajo, se preveían gran cantidad de problemáticas que parecía iban a complicar la restitución fotogramétrica, este hecho, unido al objetivo marcado de intentar obtener una malla muy definida del conjunto, hizo adoptar una metodología de trabajo de campo muy detallada y exhaustiva a la hora de obtener una gran densidad de imágenes del mismo conjunto.

La campaña de toma de datos fue extensa para la escala del conjunto a documentar pero dentro de lo que cabe, un proceso sencillo. Lo que hace que merezca la pena para el resultado obtenido. Hemos comprobado, como al aumentar la densidad de fotografiado, aumenta notablemente la definición de la malla y su textura.

Un espacio tan irregular como este, hubiese sido imposible obtener un levantamiento tan preciso y fiel a la realidad como el que se ha podido obtener con este trabajo, si la toma de datos del lugar fuese de una manera directa. El espacio cuenta con grandes deformaciones notables, tanto en planta como en altura, además de estar formado por superficies de piedra irregular, la toma de datos directa hubiese sido muy poco fiable.

Empleando la fotogrametría, de una manera muy asequible, como se viene haciendo a lo largo de toda esta investigación se pueden documentar de una manera muy precisa y fiable conjuntos espaciales acotados, de no mucha altura e incluso que presenten grandes irregularidades o condiciones aparentemente adversas como la calidad lumínica.

Gracias a este trabajo, se ha visto también, como no importa alinear de una vez un conjunto de imágenes superior a las 400. Así como, intercalar imágenes tomadas con iluminación diferente, empleando *flash* o no.

CAPÍTULO IV.

CONCLUSIONES

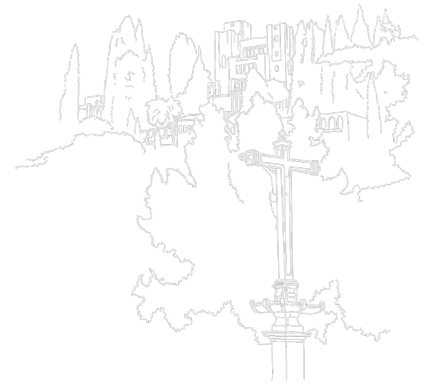
Conclusiones

Tras el presente trabajo de investigación sobre los procedimientos fotogramétricos aplicados al levantamiento del Patrimonio Arquitectónico, se han enfocado diferentes objetivos, dependiendo de las zonas a documentar de nuestro referente monumental y patrimonial, según las características específicas que presentaba cada uno de estos conjuntos espaciales, alcanzando diferentes conclusiones específicas fruto del propio proceso experimental.

Se ha aplicado la fotogrametría como herramienta de toma de datos de un referente patrimonial concreto: El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta, queriendo así representar situaciones genuinamente posibles de encontrar en otros posibles trabajos de levantamiento dentro de un contexto patrimonial arquitectónico.

La economía de medios ha sido la marcada por nuestras posibilidades como trabajo de investigación académico de final de grado, mostrando al mismo tiempo con este trabajo el alcance que tiene la fotogrametría aplicándola de una manera asequible, sin elevados costes o trámites empleando grandes tecnologías que evidentemente facilitarían el proceso de toma de datos y mejorarían la precisión del resultado y, que al mismo tiempo no evidenciaría el potencial de esta herramienta sin necesidad de contar con por ejemplo, un dron. Esta vía de trabajo pretende acercar la herramienta fotogramétrica a más usuarios, mostrando la facilidad de uso y la precisión del resultado en según qué situaciones.

Hemos documentado la portada que da acceso al Carmen, con el objetivo de realizar un levantamiento bidimensional lo más detallado posible de su alzado empleando el uso del fotoplano. También se ha modelado tridimensionalmente gracias a la malla obtenida, con el objetivo de ejemplificar una vía posible de la



difusión del Patrimonio a través de la maqueta impresa. Gracias a la fotogrametría se ha podido obtener, con una fácil y rápida toma de datos, una malla texturizada de la portada lo suficientemente detallada para poder obtener el fotoplano frontal correspondiente y realizar sobre él un alzado de alta precisión en todos sus detalles. De la misma forma, con el alzado ya realizado y apoyándonos en la malla, se puede obtener un modelado con el mismo detalle para su posterior impresión 3D.

Hemos podido ver, como la fotogrametría es una herramienta muy recomendable a la hora de documentar superficies detalladamente. También, como dependiendo de la distancia de la toma fotográfica, aumenta la precisión del elemento documentado. Esto lo hemos podido ver al documentar aisladamente la clave y la aldaba de la portada, por ejemplo.

Trasladar la realidad construida a un archivo tridimensional, en nuestro caso la malla y su textura, nos aporta versatilidad a la hora de poder obtener fácilmente un modelado fiel del referente documentado, además de una planimetría base calcando la realidad. Se obtienen 'dos en uno' de manera muy rápida y fiable: levantamiento 2D y 3D. Así como, poder obtener modelos tridimensionales mallados que representan elementos de morfología orgánica difícilmente modelables con las herramientas comunes de modelaje, como ocurre con la clave en la portada, o la vegetación y el friso en el acceso a las galerías desde el patio de Venus. En cuanto a la representación planimétrica de este tipo de elementos, durante el proceso de calcar la realidad, también nos vemos beneficiados de la misma malla obtenida, ya que dichos elementos pueden ser representados al detalle, dependiendo de la habilidad del autor, pero sin perder la escala y magnitud del elemento, ya que lo estamos 'calcando'.



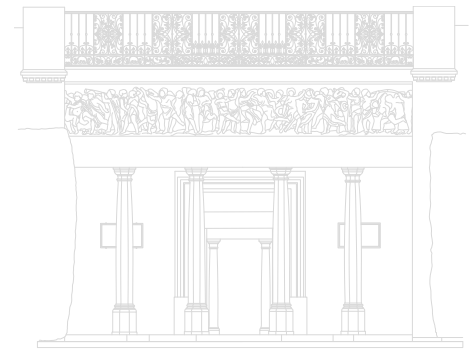
Conclusiones

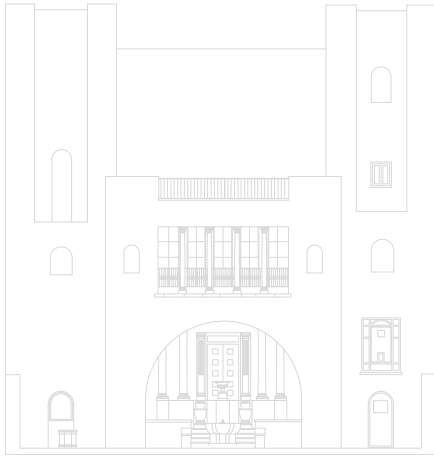
Se ha puesto a prueba la fotogrametría como herramienta de rectificación para obtención de fotoplanos de grandes fachadas. El trabajo en la fachada sur, evidencia grandes limitaciones de esta herramienta sin el uso del dron, que con él se podría fácilmente haberla documentando además con mucha precisión. Ya que, como hemos visto el fotoplano obtenido carece de buena definición en los detalles, los cuales había que interpretar con cierta maña en su levantamiento. Pero al mismo tiempo, queda demostrado que es una herramienta muy válida para obtener la verdadera magnitud de esos grandes volúmenes, que difícilmente se podría medir de forma directa, por ejemplo la altura total de dicha fachada sur. Siempre y cuando la proporción altura y espacio libre frente a esta para la toma de datos, sea la idónea. En nuestro caso, eran 8,50 metros libres frente a la fachada, y unos 18 metros de altura total.

¿Qué ocurre si documentamos elementos en contacto con el agua? En el apartado número 10, hemos visto como se comporta la fotogrametría con la lámina de agua. Un elemento que producía fuertes reflejos y que iban a aparecer en todas las fotografías desde diferentes ángulos. Como hemos visto, literalmente, el *software* obvía por completo la lámina de agua y entiende estos reflejos como unos sólidos sin definir, quedando como bultos deformados bajo el elemento con interés real en documentar.

Para terminar, como cierre a este conjunto de trabajos experimentales, se ha querido documentar un tramo de las galerías subterráneas, las cuales presentaban condicionantes muy adversos de antemano, que se han querido refutar o reafirmar.

Debido a la naturaleza irregular del espacio, me parecía innecesario, usar la malla obtenida como elemento referencia para su levantamiento. Me parecía interesante intentar obtener una malla





tal, que fuese suficiente para representar las propias irregularidades de este espacio. Por ello, el trabajo de campo fue tan exhaustivo, también porque fue el último en realizar, y ya había detectado posibles mejoras en la metodología de toma de datos con los trabajos anteriores.

El resultado obtenido, frente a las adversidades previas detectadas, fue muy sorprendente. Evidencia, que con una toma de datos exhaustiva (más de 400 imágenes), se obtiene un resultado muy detallado. También, queda demostrado que no hay problema en mezclar imágenes con *flash* o sin él, así como que tampoco es un problema alinear más de 400 imágenes sin usar *chunks*.

A la vista del trabajo expuesto queda evidenciado que las herramientas fotogramétricas ofrecen en la actualidad resultados suficientemente fiables y precisos cuando se pretende documentar gráficamente una arquitectura patrimonial tan rica y compleja como la que aquí se ha tomado como referente; ya sea para su mero registro documental, su análisis, su difusión, intervención e incluso gestión.

Cabe deducir que el potencial de esta sencilla, asequible y versátil herramienta es, por sí misma, digno de tenerse en consideración. Se propone como futura línea de investigación establecer el potencial que ofrece junto a otras herramientas de levantamiento, quizá más complejas y especializadas, como puedan ser los láser escáneres.

Espero este trabajo, haya mostrado el potencial que la fotogrametría posee para seguir documentando la arquitectura, cada vez con mayor 'dibujo riguroso' para así aumentar el 'conocimiento' y el 'respeto' por el **Patrimonio Arquitectónico**, como dice la ya mencionada cita de ALMAGRO, A. (2004).

CAPÍTULO V.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

ALMAGRO, A. (2004). *Levantamiento arquitectónico*. Universidad de Granada.

ALONSO RODRÍGUEZ, M. Á., CALVO LÓPEZ, J., UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, & UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. (2010). *Sobre el Levantamiento Arquitectónico mediante fotogrametría multimagen*. Congreso Internacional de EGA.

BENAVIDES LÓPEZ, J.A. (2017). *Nuevas tecnologías en la documentación del patrimonio: La alcazaba de Guadix - El castillo de Píñar*. Granada: Universidad de Granada. Tesis Doctorales. [<http://hdl.handle.net/10481/47477>]

BREA, J.L. (2010). *Las tres eras de la imagen*. Madrid. Akal.

CAREAGA. (2022). *Fotogrametría, la conversión de una imagen 2D al plano tridimensional*. Parque de Innovación Tecnológica. <https://innovacion.uas.edu.mx/fotogrametria-la-conversion-de-una-imagen-2d-al-plano-tridimensional/>

DEL VANDO BLANCO, C. (2016, 7 diciembre). *Alberto Durero inspirado por Andrea Mantegna*. Descubrir el Arte. Recuperado 15 de febrero de 2023, de <https://www.descubrirelarte.es/2016/12/02/alberto-durero-inspirado-por-andrea-mantegna.html>

ESCLAPÉS, J., TEJERINA, D., ESQUEMBRE, M. A., BOLUFER, J. (2013). *Propuesta metodológica para la generación de recorridos virtuales interactivos*. VAR, Vol. 4-9.

FUNDACIÓN RODRÍGUEZ-ACOSTA. (2022). <http://www.fundacionrodriguezacosta.com/>

JUAN GUTIÉRREZ, P.J., IRLÉS PARREÑO, R., MAESTRE LÓPEZ-SALAZAR, R. (2020). *Photogrametry time. A classification proposal for photogrammetric survey*. EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación, Nº 13, Valencia: Universitat Politècnica de València. pp. 30-46. <https://doi.org/10.4995/ege.2020.14579>

LESERRI, M., UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL DE MONTERÍA, COLOMBIA & UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO, ITALIA (Eds.). (2021). *La Representación del Patrimonio para su Documentación*. Aesei Editore.

- MONEO, R. (2001). *El Carmen Rodríguez-Acosta*. Granada: Fundación Rodríguez-Acosta.
- PARRINELLO, S., GÓMEZ-BLANCO, A., & PICCHIO, F. (2017). *El palacio del Generalife del levantamiento digital al proyecto de gestión. Cuaderno de trabajo para la documentación arquitectónica*. Pavia University Press.
- PIETRO-MORENO, F. (1983). *Los jardines de Granada*.
- POZO FELGUERA, G. (2017, 31 diciembre). *Centenario de la 'isla blanca y verde'*. El Independiente de Granada. <https://www.elindependientedegranada.es/cultura/centenario-isla-blanca-verde>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (s.f.). Fotogrametría. En Diccionario de la lengua española. Recuperado en 10 de febrero de 2019, de <https://dle.rae.es/fotogrametr%C3%ADa>
- RIVAS, E. (2014). *El Carmen de la Fundación Rodríguez Acosta: Una indagación gráfica*. Granada: Universidad de Granada. Tesis Doctorales. [<http://hdl.handle.net/10481/32089>]
- SÁNCHEZ RIBERA, J. I., FERNÁNDEZ MARTÍN, J. J., & SAN JOSÉ ALONSO, J. (2016). *Decisión, croquis, laser y dron. Sistema de documentación de torres campanario en la provincia de Burgos*. [El arquitecto, de la tradición al siglo XXI. Docencia e investigación en Expresión Gráfica Arquitectónica]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Valladolid.
- TORTOSA, P. (2023). Granada clásica. <https://www.instagram.com/granadaclasica/?igshid=ZWQy-N2ExYTkWZQ%3D%3D>
- VIDAL MALLÉN, J. (2020). *El levantamiento fotogramétrico del patrimonio arquitectónico construido como herramienta de análisis y conocimiento: El caso del Castell de la Vall de Perputxent*. Alicante: Universidad de Alicante.
- WOLF, H. (2017, 8 noviembre). *Aimé Laussedat's Métophotographie*. Temporary Gallery. Recuperado 15 de febrero de 2023, de <https://www.temporarygallery.org/en/lecture-herta-wolf-aime-laussedats-metrophotographie-zur-historiografie-einer-franzosischen-erfindung-wed-8-november-7-pm/>

CAPÍTULO VI.

ANEXOS

Anexos

Listado de imágenes

TÍTULO	DESCRIPCIÓN	FECHA	AUTOR	FUENTE	PÁG.
Portada	Composición: en el centro un dibujo a mano del Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta. Abajo, una composición con las dovelas que conforman el arco de la portada del Carmen.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	
Portadilla	Sucesión de iconos que identifican a los cinco apartados que conforman la fundamentación empírica de este trabajo de investigación.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	01.
Imágen 01.	Dibujo del Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta, vista desde el Campo del Príncipe, junto a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Granada.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	10.
Imágen 02.	Dibujo de la escultura central del estanque en el Patio de Venus, Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	13.
Imágen 03.	Dibujo de una vista aérea Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta junto a Torres Bermejas.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	15.
Imágen 04.	Dibujo en el Callejón Niño del Royo. Al fondo, el Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	17.
Imágen 05.	Dibujo de la Portada que da acceso al Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta, en el Callejón Niño del Royo.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	19.
Imágen 06.	Dibujo del alzado correspondiente a la Fachada Sur.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	20.
Imágen 07.	Dibujo del conjunto de la Portada que da acceso a las Galerías subterráneas por el Patio de Venus y estanque y conjunto escultórico.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	21.
Imágen 08.	Fotografía tomada de las Galerías Subterráneas.	04 . 2023	Alvaro García Teruelo (Ayudante en trabajo de campo)	Elaboración propia	23.

Imágen 09.	Ilustraciones de diferentes herramientas empleadas. De arriba abajo: accesorio trípode, pértiga y cámara en mano.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	27.
Imágen 10.	Captura de una nube de puntos generada en el proceso de elaboración de este trabajo de investigación en las Galerías Subterráneas.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	28.
Imágen 11.	Cámara compacta digital <i>Panasonic Lumix TZ 100</i> .	02 . 2023	Panasonic	Panasonic LUMIX TZ 100. (2022).	31.
Imágen 12.	Pértiga <i>Photomast MK2</i> .	02 . 2023	Photomast	Photomast MK2. (2022).	31.
Imágen 13.	Accesorio trípode modelo <i>NGTR002T</i> .	03 . 2023	Imágen editada por Javier Díaz Oliver	Alvaro GarcíaTeruelo	31.
Imágen 14.	Nube de puntos de la Portada que da acceso al Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta, obtenida a partir de fotogrametría.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	35.
Imágen 15.	Grabado de Alberto Durero durante sus investigaciones sobre la perspectiva.	1525	Alberto Durero	VANDO BLANCO, (2016)	39.
Imágen 16.	Estudios fotogramétricos de Laussedat.	1899	Laussedat, A.: La Métrophotographie	WOLF, H., (2017)	39.
Imágen 17.	Estereocomparador de Pulfrich.	1901	Desconocido	ALMAGRO, A. (2004) p. 113	39.
Imágen 18.	Uso de los estereóscopos.	2004	Desconocido	ALMAGRO, A. (2004) p. 116	41.
Imágen 19.	Rectificación del plano con una sola imágen. Conocidas sus coordenadas a través de su deformación.	02 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	41.
Imágen 20.	Esquema explicativo de como las imágenes cruzadas eliminan las sombras generadas.	02 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	43.

Anexos

Listado de imágenes

Imágen 21.	Alineación de imágenes automática a partir de algoritmos <i>Structure from Motion</i> . Localización de imágenes y creación de nube de puntos del elemento fotografiado.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	45.
Imágen 22.	Proceso de restitución fotogramétrica basada en algoritmos SfM: Alineación de cámaras, densificación de nube de puntos, creación de malla y textura.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	47.
Imágen 23.	Documentación fotogramétrica topográfica y arqueológica mediante el uso del dron.	2020	Joan Vidal Mallén	VIDAL, J. (2020) pp.73-74	49.
Imágen 24.	Ejemplo de documentación del Patrimonio mediante el uso del escáner láser. Estamos viendo la nube de puntos obtenida en el Patio del Agua, en el Generalife. Cada estación del escáner láser está marcada con un color diferente.	2017	Pavia University y Universidad de Granada	PARRINELLO, S., GÓMEZ-BLANCO, A., & PICCHIO, F. (2017). p.86	51.
Imágen 25.	Levantamiento Arquitectónico del Patrimonio: Sección transversal de Torres Bermejas.	2004	Antonio Almagro	ALMAGRO, A. (2004) p. 232	53.
Imágen 26.	Levantamiento Arquitectónico del Patrimonio a través de la fotogrametría: Nubes de puntos en la Torre de la Romilla.	2017	J.A. Benavides López	BENAVIDES LÓPEZ, J.A., (2017). p.165	55.
Imágen 27.	Levantamiento del Patrimonio Arquitectónico mediante fotogrametría SfM, empleando la pértiga. Torre en el patio de la guardia, Palacio del Generalife.	2017	Pavia University y Universidad de Granada	PARRINELLO, S., GÓMEZ-BLANCO, A., & PICCHIO, F. (2017). p.98	57.
Imágen 28.	Malla de un capitel en el Palacio del Generalife obtenido mediante fotogrametría SfM.	2017	Pavia University y Universidad de Granada	PARRINELLO, S., GÓMEZ-BLANCO, A., & PICCHIO, F. (2017). p.132	59.
Imágen 29.	Modelo impreso tridimensionalmente.	2017	Pavia University y Universidad de Granada	PARRINELLO, S., GÓMEZ-BLANCO, A., & PICCHIO, F. (2017). p.133	59.

Imágen 30.	Dibujo del alzado sur. El Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	61.
Imágen 31.	Autorretrato de José María Rodríguez-Acosta.	1905	J.M. Rodríguez-Acosta	RIVAS, E. (2014). p. 22	63.
Imágen 32.	Plano parcelario de adjudicación del callejón del Rey Chico.	1915	Administración pública	RIVAS, E. (2014). p. 58	64.
Imágen 33.	Alzado sur del proyecto de Santa Cruz.	1916	Ricardo Santa Cruz	RIVAS, E. (2014). p. 78	64.
Imágen 34.	Comparativa del cuadro 'La isla de los muertos' (arriba) y mi dibujo (Imágen 30, abajo) del alzado sur del Carmen de la Fundación Rodríguez-Acosta.	05 . 2023	Composición por Javier Díaz Oliver. Pintura de Arnold Böcklin	RIVAS, E. (2014). p. 75	65.
Imágen 35.	Estado de las obras cuando llega Anasagasti al proyecto. Se puede apreciar como de una forma simplificada ha representado la portada y situada (resaltada en rojo).	1921	Teodoro de Anasagasti y Algán	RIVAS, E. (2014). p. 87	66.
Imágen 36.	Fotografía del estado de las obras en 1921.	1921	Tomada por Arthur Byne y Mildred Stapley. Editada por Ernesto Rivas (2014), resaltando la presencia de la portada baeciense.	RIVAS, E. (2014). p. 87	66.
Imágen 37.	Fotografía del momento de las obras. Podemos observar en el suelo el arco de la portada previa a su colocación, conformada por esas dovelas talladas tan características y la dovela clave tallada en forma de hojas de acanto. Elemento más singular de dicha portada procedente de Baeza. Se puede observar el estado del resto de las obras, correspondiente al estado detallado por Anasagasti en la imágen número 35.	1921	Fundación Rodríguez-Acosta	TORTOSA, P. (2023)	67.
Imágen 38.	Sección a lápiz del arquitecto José Felipe Giménez Lacal.	1924	José Felipe Giménez Lacal	RIVAS, E. (2014). p. 141	68.
Imágen 39.	Alzado sur con modificaciones a lápiz encima.	1927	José Felipe Giménez Lacal	RIVAS, E. (2014). p. 206	68.

Anexos

Listado de imágenes

Imágen 40.	Fotografía desde el Realejo. Se pueden observar en lado derecho del edificio todavía unos andamiajes colocados. Las obras estarían a punto de terminar. Se puede observar también la altura de los cipreses en aquelo entonces.	1928	Fundación Rodríguez-Acosta	RIVAS, E. (2014). p. 221	69.
Imágen 41.	Planimetría de Francisco Pietro-Moreno de los jardines del Carmen, en su libro referente a los jardines de Granada.	1983	Francisco Pietro-Moreno	PIETRO-MORENO, F. (1983)	71.
Imágen 42.	Perfil de la dovela clave del arco en la portada de fachada norte.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	77.
Imágen 43.	Croquis en planta, sobre la metodología de la primera de toma de datos general en la fachada norte.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	79.
Imágen 44.	Ambas situaciones descritas de toma de datos frente a la portada. Con la pértiga junto a la clave y más alejada con cámara en mano para esa toma más general.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	79.
Imágen 45.	Nube de puntos y situación de las cámaras generada con la alineación de las primeras fotografías tomadas.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	81.
Imágen 46.	Mapa de calor donde se puede ver que las zonas rojas son las sombras acumuladas en las partes altas.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	81.
Imágen 47.	Nube de puntos y situación de las cámaras generada con la alineación de las fotografías de la aldaba.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	83.
Imágen 48.	Mapa de calor en la malla generada de la aldaba.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	83.
Imágen 49.	Nube de puntos y situación de las cámaras generada con la alineación de las fotografías de la clave.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	83.
Imágen 50.	Mapa de calor en la malla generada de la clave.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	83.

Imágen 51.	Malla del conjunto con textura. Correspondiente a la primera toma de datos general.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	84.
Imágen 52.	Malla con textura de la aldaba.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	85.
Imágen 53.	Malla con textura de la clave.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	85.
Imágen 54.	Captura del proceso de levantamiento del alzado. Calcando la realidad.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	87.
Imágen 55.	Captura del proceso de modelado. Podemos ver la coincidencia con la malla de referencia. Calcando la realiad.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	87.
Imágen 56.	Captura del proceso de preparación del volumen modelado para su impresión 3D.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	92.
Imágen 57.	Fotografía durante la impresión del modelo 3D.	05 . 2023	Antonio Gómez-Blanco (Tutor)	Elaboración propia	92.
Imágen 58.	Resultado de la maqueta impresa en resina a escala 1/40.	06 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	93.
Imágen 59.	Fuente de la Terraza Central	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	99.
Imágen 60.	Croquis planteamiento de la metodología empleada para la toma de datos.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	101.
Imágen 61.	Metodología empleada para la toma de datos.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	101.
Imágen 62.	Nube de puntos y ubicación de cámaras.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	103.
Imágen 63.	Mapa de calor en la malla obtenida. Se aprecia como los planos en primera línea y orientados al alzado buscado se han formado bien (azul). Al igual, que el retranqueo de la fachada entre las dos torres no se ha conseguido formar, ya que desde la terraza central no era visible.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	103.
Imágen 64.	Malla con textura.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	103.

Anexos

Listado de imágenes

Imágen 65.	Fotoplano del alzado obtenido.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	104.
Imágen 66.	Detalle del fotoplano. Zona baja.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	105.
Imágen 67.	Detalle del fotoplano. Zona alta.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	105.
Imágen 68.	Detalle de la captura durante el proceso de levantamiento del alzado a través del fotoplano. Calcando la realidad. Interpretación del capital, con la información aportada por el fotoplano.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	106.
Imágen 69.	Captura durante el proceso de levantamiento del alzado a través del fotoplano. Calcando la realidad.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	107.
Imágen 70.	Friso en alto relieve del pórtico de entrada a las galerías.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	115.
Imágen 71.	Representación de las dos situaciones descritas durante la toma de datos.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	117.
Imágen 72.	Fotografía del momento de toma de datos con pértiga.	03 . 2023	Alvaro García Teruelo	Elaboración propia	118.
Imágen 73.	Nube de puntos y ubicación de cámaras <i>chunk 1</i> : Nube de puntos generada con la alineación de las primeras cámaras para el <i>chunk 1</i> , frente al alzado principal.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	121.
Imágen 74.	Malla <i>chunk 1</i> : se ve que toda la parte interior del conjunto queda sin definir, con el <i>chunk 2</i> se pretende completar estas áreas.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	121.
Imágen 75.	Nube de puntos y ubicación de cámaras <i>chunk 2</i> : Nube de puntos generada con la alineación de las cámaras para el <i>chunk 2</i> , tras el pórtico.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	121.
Imágen 76.	Malla <i>chunk 2</i> : Las vigas del techo se han conseguido reconstruir, así como la trasera de las columnas. También las columnas de las jambas que da acceso al zaguán.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	121.
Imágen 77.	Nube de puntos y ubicación de cámaras de <i>Merged chunks</i> .	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	123.

Imágen 78.	Malla Merged <i>chunks</i> .	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	123.
Imágen 79.	Malla Merged <i>chunks</i> . Mapa de calor El alzado principal se ha visto contaminado en las zonas de contacto, como se aprecia claramente en la parte baja del dintel del pórtico.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	123.
Imágen 80.	Nube de puntos y malla resultante. Todo el conjunto ha quedado muy definido, a excepción del arco en el umbral de acceso al zaguán.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	124.
Imágen 81.	Malla con textura de todo el conjunto. Resultado final de la restitución a partir de <i>SfM</i> mediante <i>Agisoft Metashape</i> .	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	125.
Imágen 82.	Sección Transversal de la malla con textura de todo el conjunto.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	126.
Imágen 83.	Planta de la malla con textura de todo el conjunto.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	127.
Imágen 84.	Axonometría seccionada longitudinalmente de la malla con textura de todo el conjunto.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	127.
Imágen 85.	Capturas del proceso durante el Levantamiento 2D. Alzado. Calcando la realidad.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	129.
Imágen 86.	Capturas del proceso durante el Levantamiento 2D. Sección Longitudinal. Calcando la realidad.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	129.
Imágen 87.	Detalle de la captura durante el proceso de levantamiento 2D. Sección transversal tras el pórtico. Se aprecia la patología en forma de arco sobre el dintel de piedra.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	129.
Imágen 88.	Detalle de la captura durante el proceso de levantamiento 2D. Sección transversal tras el pórtico. Patología en forma de arco sobre el dintel de piedra marcada.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	129.
Imágen 89.	Capturas del proceso durante el levantamiento 3D. Modelo. Calcando la realidad.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	131.

Anexos

Listado de imágenes

Imágen 90.	Capturas del proceso durante el levantamiento 3D. Superposición entre modelo y malla referencia. Calcando la realidad.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	131.
Imágen 91.	Conjunto escultórico sobre el estanque en el Patio de Venus.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	153.
Imágen 92.	Fotografía del momento de toma de datos.	03 . 2023	Alvaro García Teruelo	Elaboración propia	155.
Imágen 93.	Situación en uno de las estaciones fotográficas alrededor de una delas esculturas. Usando el pie de la pértiga para pivotear y acercar la cámara a la escultura.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	155.
Imágen 94.	Nube de puntos obtenida con la primera alineación de las 174 imágenes. Se aprecia perfectamente el entorno de todo el Patio de Venus.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	157.
Imágen 95.	Detalle de la misma nube de puntos y ubicación de las cámaras entorno a las estatuas.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	157.
Imágen 96.	Mapa de calor sobre la malla obtenida.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	158.
Imágen 97.	Detalle del mapa de calor sobre la malla obtenida. Podemos apreciar como se han representado los reflejos sobre el estanque. La lámina de agua se ha obviado, simplemente es un vacío.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	158.
Imágen 98.	Malla con textura.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	159.
Imágen 99.	Detalle de la malla con textura. Los reflejos quedan como volúmenes mal formados.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	159.
Imágen 100.	Axonometría de la malla con textura.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	160.
Imágen 101.	Vista frontal de la malla con textura.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	161.
Imágen 102.	Vista superior de la malla con textura.	03 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	163.
Imágen 103.	Arco y columnas que se suceden en la trayectoria de las escaleras en las galerías subterráneas y que sustentan a la vez la bóveda del vestíbulo a documentar de planta hexagonal.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	167.

Imágen 104.	Fotografía tomada durante el proceso de fotografiado de la cúpula usando el accesorio de trípode.	04 . 2023	Alvaro García Teruelo	Elaboración propia	168.
Imágen 105.	Posición de fotografiado del pavimento empleando el uso del accesorio de trípode para pivotar sobre el eje central.	05 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	169.
Imágen 106.	Nube de puntos generada con la primera alineación.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	171.
Imágen 107.	Nube de puntos densa. <i>'Quality: High'</i> .	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	171.
Imágen 108.	Mapa de calor sobre la malla obtenida.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	171.
Imágen 109.	Malla completa sin textura.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	171.
Imágen 110.	Malla y textura de todo el conjunto espacial.	04 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	173.
Imágen de Conclusiones	Composición con algunas de las infografías producidas, a menor escala y mayor transparencia, a lo largo del trabajo de investigación.	06 . 2023	Javier Díaz Oliver	Elaboración propia	186 - 189