



**UCAM**  
UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
Programa de Doctorado en Urbanismo

La fotogrametría como herramienta para la conservación  
y valorización de bienes patrimoniales

Autor:

José Enrique Segura Valera

Directores:

Dr. D. Juan Roldán Ruiz

Dr. D. Francisco Javier López Martínez

Dr. D. José Antonio Martínez López

Murcia, mayo de 2017





**UCAM**  
UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
Programa de Doctorado en Urbanismo

La fotogrametría como herramienta para la conservación  
y valorización de bienes patrimoniales

Autor:

José Enrique Segura Valera

Directores:

Dr. D. Juan Roldán Ruiz

Dr. D. Francisco Javier López Martínez

Dr. D. José Antonio Martínez López

Murcia, mayo de 2017



AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS  
PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Juan Roldán Ruiz, Dr. D. Francisco Javier López Martínez y el Dr. D. José Antonio Martínez López como Directores de la Tesis Doctoral titulada “La fotogrametría como herramienta para la conservación y valorización de bienes patrimoniales” realizada por D. José Enrique Segura Valera en el Departamento de Ciencias Politécnicas, autoriza su presentación a trámite dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011, 1393/2007,  
56/2005 y 778/98, en Murcia a 22 de mayo de 2017

Fdo.: Juan  
Roldán Ruiz

Fdo.: Francisco Javier  
López Martínez

Fdo.: José Antonio  
Martínez López



## **A**bstract

This document is a direct consequence of my professional relationship during the latest years developing projects of topographic surveys and geometric documentation of the Spanish Patrimony, as well as, from 2008 to nowadays, of my teaching activity revolved around graphic representation of Patrimony as teacher of “Topography and Stakeout Surveys”, “Protection, Restoration and Rehabilitation of the Architectonic Patrimony” and “Archaeology and Architectonic Restoration” in the Architecture Degree and Building Engineering Degree at the Higher Polytechnic School of the San Antonio’s Catholic University of Murcia (UCAM).

In addition, the training given in national professional bodies in the form of in-person and online workshops to, amongst others, the Technical Facility team of the Urban Development and Housing Department of Murcia City Council and,

serving as collaborating external agent, to the Technological Institute of Murcia (ITM), provide my career path with a large theoretical and practical experience for the exercising of this technic.

This document is the result of the UCAM's Research Plan 2013-2014 within the Doctorate in Urbanism regulated by the RD 1393/2007 and that establishes the foundations for granting of a Pre-doctoral Contract for research personnel training.

The axis around which the research revolves is the preservation and dissemination of the cultural Patrimony through topographic surveys, graphic representations and geometric-dimensional studies for the documentation of these with the photogrammetry as useful way/tool in each one of the intervention phases.

The Patrimony is a necessary resource for the social development that, due to its essential value of identity, diversity and image, contributes to the evidentiary declaration of the human civilization in its constant evolving process. The commitment of transferring and perpetuation of our cultural legacy and the perception of the value with all that gives to our heritage, in a social way, provide the foundations of which this thesis is intending: preservation, management and dissemination of the Patrimony through three-dimensional models with metric value.

As result of the exposed interest and the experiences, previous and specific, carried out during the essay of this document, it's proposed a protocol for the implementation of topographic surveys according to an integration plan of action which provides technical solutions to undertake different case studies within scope of documentation, representation and preservation of the patrimonial goods attending to them regardless of they are architectonic, archaeological and/or industrial and always demonstrating that it's a viable tool within an integral process.

Thus, the main objective followed throughout this thesis is to analyse the integration of digital photogrammetry as technic against traditional methodology of good patrimony surveys, studying advantages and limitations of this in the architectonic, archaeological and industrial fields and their employment opportunities.

Deepening in this general objective, next specific objectives are detailed:

1. To expose how digital photogrammetry is an useful and appropriate tool in the documentation of the architectonic, archaeological and industrial Patrimony in an integral intervention process.
2. To develop an by-step actuation protocol which, applying digital photogrammetry, allows to get data to document the architectonic, archaeological and industrial Patrimony.

The quality of this research is in the use of the same technic, the photogrammetry, to produce 3D models and elevation, plan and section diagrams, applied to diverse fields in a direct way.

The actuation protocol here exposed provides an suitable procedure to the totality of the digital photogrammetry surveys and demonstrates that the digital photogrammetry expand the resolution possibilities of the professionals, teachers or researchers related to these fields; it makes viable the reduction of multidisciplinary personnel, costs, risks, instrumentation, time on site and cabinet work; it expands the flexibility of results under an only action, it facilitates the temporary registration and it sorts out and supplies (directly or indirectly) all the graphic and photographic documentation demanded or required along an integral intervention process about the architectonic, archaeological and industrial patrimony.



## A GRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a todas las instituciones que han participado, de una forma u otra, en la elaboración de este trabajo y, en especial, a las muchas personas que en representación de las mismas y/o en nombre propio lo han hecho posible. A todas ellas, gracias.

Mi eterna gratitud a quienes siempre han confiado en mí, me han ayudado y servido de ejemplo para crecer como persona y perseguir la excelencia en lo profesional.



# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
1.1. Elección y justificación del tema	19
1.2. Objetivos propuestos	22
1.3. Estructura y contenidos de la investigación	23
<b>2. FOTOGRAMETRÍA:</b>	
<b>ANTECEDENTES Y ESTADO DE LA CUESTIÓN</b>	<b>29</b>
2.1. La fotogrametría y el patrimonio cultural.	
Normativa y recomendaciones	32
2.1.1. Normativa internacional: principales directrices	33
2.1.1.1. Carta de Atenas	35
2.1.1.2. Carta del Restauero	35
2.1.1.3. Carta de Venecia	37
2.1.1.4. Otras directrices	38
2.1.2. Normativa española	40
2.1.2.1. Ley del Patrimonio Histórico Español	40
2.1.2.2. Las comunidades autonómicas y	

la importancia de la documentación	45
2.1.3. Los modelos administrativos del patrimonio y la documentación patrimonial	48
2.2. Evolución de la fotografía a la fotogrametría	52
2.2.1. Antecedentes históricos	52
2.2.2. La fotogrametría	54
2.3. Levantamientos: medios y procedimientos	58
2.4. Glosario	66
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN: ETAPAS Y PROTOCOLO DE ACTUACIÓN</b>	<b>91</b>
3.1. Etapa 01: equipos y ajustes	92
3.1.1. La instrumentación	93
3.1.1.1. Equipo fotográfico	93
3.1.1.2. Equipos topográficos	103
3.1.1.3. Instrumentos auxiliares	105
3.1.2. El calibrado	108
3.1.3. Equipos de fotografía: actividades previas	118
3.2. Etapa 02: trabajo de campo	120
3.2.1. Análisis previo: estudio del lugar	123
3.2.2. Documentación de apoyo	127
3.2.3. Criterios de reproducción y valoración: recogida de datos	132
3.2.4. Correcta toma fotográfica	133
3.3. Etapa 03: trabajo de gabinete	140
3.3.1. Software fotogramétrico: justificación	142
3.3.1.1. Generalidades	143
3.3.1.2. Photomodeler versus PhotoScan	145
3.3.2. Orientación de imágenes y transformación de puntos bidimensionales a coordenadas 3D	158
3.3.3. Proceso de restitución fotográfica. Nube de puntos densa.	161
3.3.4. Modelo tridimensional: las mallas	166
3.3.5. Asignación de colores a sólidos y texturas	169
3.3.6. Otras consideraciones.	171

---

3.4. Etapa 04: productos	178
3.4.1. Elaboración de modelos 3D fotorrealistas	182
3.4.2. Representación de plantas, alzados y secciones	184
3.4.3. Realidad aumentada	186
3.4.4. Realidad virtual	199
3.4.5. Impresión 3D	202
3.4.6. Entornos tridimensionales	206
3.4.7. Animaciones y recorridos virtuales	209
3.4.8. Difusión en la red	213
<b>4. APLICACIÓN EN LAS FASES DE INTERVENCIÓN EN EL PATRIMONIO: RESULTADOS</b>	<b>221</b>
4.1. FASE 01. Conocimiento: investigación y diagnóstico.	225
4.1.1. Prediagnosis	227
4.1.2. Diagnosis	234
4.1.3. La fotogrametría en la fase de conocimiento	242
4.1.3.1. Antecedentes	243
4.1.3.2. Contexto geográfico-histórico	244
4.1.3.3. Elección, justificación y planteamiento del caso	246
4.1.3.4. Ejecución de la propuesta. Puesta en práctica de las etapas de trabajo fotogramétrico	252
4.1.3.5. Resultados: documentación, adecuación y optimización	262
4.2. FASE 02. Proyecto.	282
4.2.1. Síntesis documental. Dictamen de diagnóstico	283
4.2.2. Redacción del proyecto	289
4.2.3. La fotogrametría en la fase de proyecto	298
4.2.3.1. Antecedentes	299
4.2.3.2. Contexto geográfico-histórico	300
4.2.3.3. Elección, justificación y planteamiento del caso	304
4.2.3.4. Ejecución de la propuesta. Puesta en práctica de las etapas de trabajo fotogramétrico	309
4.2.3.5. Resultados: documentación, adecuación y optimización	323
4.3. FASE 03. Ejecución.	340

4.3.1. Procedimientos y trámites previos	340
4.3.2. Ejecución de la intervención	343
4.3.3. Recepción	345
4.3.4. La fotogrametría en la fase de ejecución	347
4.3.4.1. Antecedentes	348
4.3.4.2. Contexto geográfico-histórico	350
4.3.4.3. Elección, justificación y planteamiento del caso	354
4.3.4.4. Ejecución de la propuesta. Puesta en práctica de las etapas de trabajo fotogramétrico	358
4.3.4.5. Resultados: documentación, adecuación y optimización	376
4.4. FASE 04. Gestión.	404
4.4.1. Uso del patrimonio	406
4.4.2. La fotogrametría en la fase de gestión	411
4.4.2.1. Antecedentes	413
4.4.2.2. Contexto geográfico-histórico	416
4.4.2.3. Elección, justificación y planteamiento del caso	419
4.4.2.4. Ejecución de la propuesta. Puesta en práctica de las etapas de trabajo fotogramétrico	422
4.4.2.5. Resultados: documentación, adecuación y optimización	438
<b>5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>455</b>
5.1. Discusión teórica de los procedimientos	456
5.2. Grado de cumplimiento de los objetivos	468
5.3. Líneas futuras de investigación	472
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>477</b>
6.1. Relación de conclusiones	477
6.2. Síntesis	479

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO





# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En este capítulo se recoge la justificación del tema propuesto para el desarrollo de la tesis así como el desglose de objetivos generales y concretos en torno a la estructura de trabajo fotogramétrica y la necesidad documental de cada una de las fases de intervención sobre el patrimonio.

## 1.1. ELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Este trabajo es consecuencia directa de mi vinculación profesional durante los últimos años en el desarrollo de proyectos de levantamiento y documentación geométrica del patrimonio, así como por mi actividad docente, desde el año 2008 y hasta la actualidad, en torno a la representación gráfica del patrimonio como profesor en “Topografía y Replanteos”, “Protección, Restauración y Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico” y “Arqueología y Restauración Arquitectónica” en



Figura 001. Práctica de campo en 2ª edición del taller impartido a los técnicos de las Instalaciones de la Concejalía de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Murcia. Fuente: Autor.

el Grado de Arquitectura y Grado en Ingeniería de Edificación de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM). Así mismo, la formación impartida, por varias ediciones, en Colegios Profesionales a nivel Nacional en forma de talleres tanto presenciales como online al, entre otros, equipo técnico de las Instalaciones de la Concejalía de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Murcia (figura 001) y ejerciendo como agente externo colaborador en el Instituto Tecnológico Murciano (ITM) dotan a mi trayectoria de frentes teóricos y prácticos al ejercicio de esta técnica.

Este documento es fruto del Plan Propio de Investigación de la UCAM 2013-2014 en el ámbito del Doctorado en Urbanismo regulado por el RD 1393/2007 y que establece las bases para la concesión de un Contrato Predoctoral para la formación de personal investigador.

El eje de giro en torno al cual gira la investigación es la preservación y difusión del patrimonio cultural a través de levantamientos, de representaciones gráficas y de estudios geométrico-dimensionales para la documentación de éstos con la fotogrametría digital como medio/herramienta útil en cada una de las fases de intervención.

El patrimonio es un recurso necesario para el desarrollo social que, por su

valor esencial de identidad, diversidad y de imagen, contribuye a la declaración evidencial de la civilización humana en constante proceso evolutivo. El compromiso por transferir y perpetuar nuestro legado cultural y la percepción del valor con la que éste dota a nuestra herencia, en cierto modo social, sirve de cimientos de aquello que pretende esta tesis: conservación, gestión y difusión del patrimonio a través de modelos tridimensionales con valor métrico.

Fruto del interés ya expuesto y de las experiencias, previas y específicas, llevadas a cabo durante la redacción de este documento, se propone un procedimiento para la realización de levantamientos en torno a un plan integral de actuación que aporte soluciones técnicas a la hora de acometer diferentes supuestos prácticos dentro del ámbito de la documentación, representación y conservación de los bienes patrimoniales atendiendo a ellos con independencia de que estos sean arquitectónicos, arqueológicos y/o industriales y siempre demostrando que se trata de una herramienta viable dentro de un proceso integral.

Esta tesis doctoral sería imposible de abordar sin conocer la congregación de dos disciplinas que sirven de punto de partida para la fotogrametría tal y como la entendemos en la actualidad. Estas vertientes, provenientes de universos diferentes, aunque complementarios, dan como resultado un método económico, versátil, “sencillo” y fructífero. Estamos hablando, por un lado, del tratamiento de imágenes de forma digital, del ámbito de las tecnologías informáticas y de la propia fotogrametría (procedente de la expresión gráfica y del trabajo cartográfico más tradicional, rudimentario y elemental).

La topografía, por tanto, sigue siendo medio al que recurrir y fundamento necesario para nuestro trabajo, principalmente, por que nos permite obtener mediciones auxiliares (o de apoyo) necesarias para las restituciones fotogramétricas.

Es por ello que, el levantamiento apoyado en mediciones con estación total o taquímetro, es decir por medio de sistemas íntegramente topográficos, aunque precisos, sólo nos proporcionan puntos dispersos que, aunque de gran precisión y fiabilidad, no resultan suficientes para la gran mayoría de los trabajos de conservación patrimonial en cuanto estos presentan, por ejemplo, abundancia de motivos ornamentales o decorativos de pequeño tamaño.

La utilización de esta metodología, apoyada en la fotografía, permite la obtención de reconstrucciones con una gran densidad de puntos. De acuerdo con lo especificado en el párrafo anterior, es ya necesaria una práctica que, por medio de la técnica, proporcione resultados más completos y eficientes que los conseguidos con la topografía tradicional (Almagro, 1988).

Estas dos disciplinas a las que hacíamos referencia, tienen en común la obtención de modelos tridimensionales del mundo real a partir de datos trigonométricos y/o fotográficos respectivamente. Aunando criterios, metodologías, técnicas y conocimientos nos “topamos” con la pretensión final pretendida: diseño y desarrollo de metodologías mixtas que nos deriven en la obtención de productos tridimensionales a través de datos fotográficos (ya sean terrestres o aéreos).

Derivado de esta visión conjunta se consigue un procedimiento que resuelve los problemas de levantamiento, tanto por la obtención de productos cartográficos más complejos, como en lo relativo a técnicas con mayores automatismos (simplificando los flujos de trabajo y comprimiendo la labor humana de los equipos multidisciplinares).

## 1.2. OBJETIVOS PROPUESTOS

El principal objetivo que persigue esta tesis es analizar la integración de la fotogrametría digital como técnica frente a la metodología tradicional<sup>1</sup> de levantamiento de bienes patrimoniales, estudiando las ventajas y limitaciones de esta en los ámbitos arquitectónicos, arqueológicos e industriales y sus posibilidades de empleo.

Pretende, por tanto, establecer cómo esta técnica puede servir de herramienta a lo largo de todo un largo y, a veces, complejo proceso, apoyándonos en modelos de diferente índole y/o naturaleza y combinando la generación de un elemento tridimensional y los alzados, plantas o secciones obtenidos del trabajo sobre este en torno a las labores de conocimiento, proyecto, ejecución y uso.

---

<sup>1</sup>Véase fotogrametría analógica, medición por métodos directos, métodos indirectos, topográfica, etc.

A diferencia de lo que sucede con sistemas propios de la topografía clásica, con la fotogrametría digital, contamos de inicio con un modelo tridimensional que se supone fiable y semejante a la realidad, avalando así su uso en campos relacionados con el patrimonio cultural y su:

- Gestión, que connota el sentido de registro, reserva e inventario de información, de distinta índole, concerniente al bien.
- Conservación, en la acepción de mantenimiento, búsqueda y monitorización de los procesos de deterioro o daño ocasionados por múltiples y diversas acciones.
- Difusión, por el tesón en la puesta en valor y transmisión del bien a futuras generaciones.

Profundizando en este objetivo general, se desglosan los siguientes objetivos específicos:

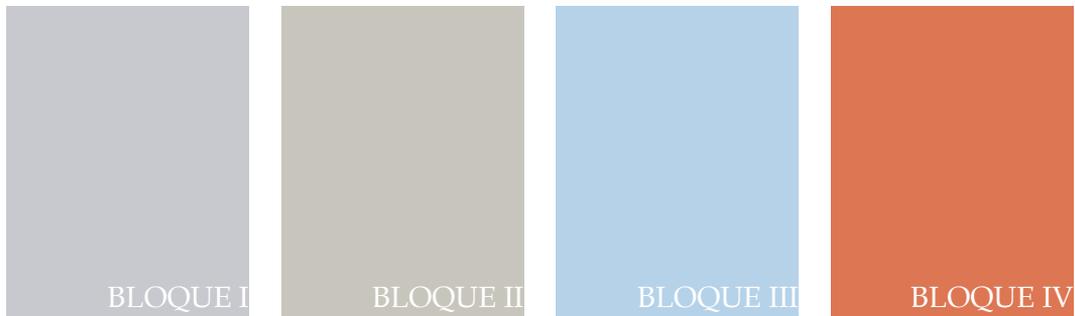
1. Exponer cómo la fotogrametría digital es una herramienta aplicable y útil en la documentación del patrimonio arquitectónico, arqueológico e industrial en un proceso de intervención integral.
2. Desarrollar un protocolo de actuación por etapas que, aplicando la fotogrametría digital, nos permita obtener datos que documenten el patrimonio arquitectónico, arqueológico e industrial.

La cualidad de esta investigación reside en el uso de una misma técnica, la fotogrametría digital, para la producción de modelos 3D y planos de alzado, planta y sección, aplicada a variados campos de una manera directa.

### 1.3. ESTRUCTURA Y CONTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN

Expuestos los objetivos, la presente tesis se estructura en cuatro bloques que, a su vez, recogen capítulos íntimamente ligados a éstos y que pretenden abordar, aclarar e interpretar, sobre modelos concretos, la aplicación práctica de la fotogrametría digital sobre bienes arquitectónicos, arqueológicos e industriales. Esta es una herramienta útil en cada una de las fases de intervención sobre el patrimonio. Esta disposición en bloques se despliega en torno a cuatro tonalidades que, con la

intención principal de simplificar la lectura, se desglosan como sigue:



#### BLOQUE I:

Establece el marco teórico y sustenta la investigación en torno a los aspectos justificativo, conceptual e histórico. Fruto de esto aparece el capítulo 1, que justifica las razones por las que se realiza la investigación y se estudian y establecen los objetivos propuestos. Ya en el capítulo 2, se fijan los antecedentes históricos de esta técnica, se reflexiona y describe el estado de la cuestión con los procedimientos y disciplinas escogidos y se definen los conceptos más relevantes en cuanto a lo que a fotogrametría se refiere.

#### BLOQUE II:

Desarrolla, dentro del capítulo 3, la metodología de trabajo de la investigación, caracterizando los equipos y el software empleado así como sus parámetros de partida, determina el inicio y final de las etapas de trabajo (tanto de campo como de gabinete) y reseña a estas los resultados obtenidos de cara a una adecuada representación, divulgación y musealización de los bienes patrimoniales investigados.

Este bloque, por tanto, sirve como nexo de unión entre los conocimientos más teóricos e históricos de esta tecnología y su inmediato, pues es aquí donde se describen los ciclos de trabajo desarrollados, conteniendo los procesos de campo (in-situ) y los necesarios en despacho (trabajo de gabinete).

#### BLOQUE III:

Se abordan los 4 modelos seleccionados (capítulo 4) de entre 50 referencias fotogramétricas desarrolladas en el transcurso de la tesis donde, partiendo de una

reseña histórica, se particularizan los estudios llevados a cabo, describiendo estos bienes y desglosando los rendimientos conseguidos con la fotogrametría, tanto en tiempo como en forma. En cada uno de los casos se establecerá la relación y empleabilidad de la fotogrametría con cada una de las cuatro fases de intervención en las que hemos catalogado las labores sobre el patrimonio.

#### BLOQUE IV:

En último lugar, y ya dentro del último bloque, se realiza una discusión derivada de la investigación (capítulo 5) y se concluye con el capítulo 6 de conclusiones, futuras líneas de investigación, citas bibliográficas empleadas/consultadas y anexos.

Las aplicaciones prácticas efectuadas durante el desarrollo de la investigación sirven de apoyo documental al cuerpo del trabajo y permiten contrastar y enriquecer la experiencia, los procedimientos y los resultados. Estos ensayos se realizan sobre los siguientes bienes:

- Portada Iglesia de Nuestra Señora de Cortes, Nonduermas (Murcia).
- Portada principal Palacio Almodí, actual sala de exposiciones, archivo histórico municipal y sede de la Concejalía de Cultura del Ayuntamiento de Murcia.
- Submarino Isaac Peral, Base Naval de Cartagena (Murcia).
- Tubo lanzatorpedos, Base Naval de Cartagena (Murcia).
- Mina subacuática. Museo Naval de Cartagena (Murcia).
- Portada de la casa de Los Salazar Rosso o Palacio del Marqués de Esquilache, actual Museo Arqueológico de Lorca, Murcia.
- Torre de las Infantas, alzado sur. Alhambra (Granada).
- Sala de las Dos Hermanas o Sala de las Losas, cúpula. Alhambra (Granada).
- Puerta de la Justicia o Puerta de la Explanada (interior). Alhambra (Granada).
- Cúpula de las Armas o Bab al-Silah, Alhambra (Granada).
- Puerta de las Armas o Bab al-Silah, exterior. Alhambra (Granada).
- Baluarte de la Alcazaba, alzado norte, Alhambra (Granada).
- Puerta del Vino, alzado norte, Alhambra (Granada).
- Columna lateral palacio de los Córdova, Granada.
- Panteones Modernistas del cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia).
- 1ª fase de excavación en el yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia).

- 2ª fase de excavación en el yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia).
- Muralla defensiva exterior de la primera fase de excavación del yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia).
- Conjunto atrincherado de la Guerra Civil Española. Parque Regional El Valle y Carrascoy (Murcia).
- Iglesia conventual de Santa Ana, Murcia.
- Zócalo encuentro con portada principal de la iglesia conventual de Santa Ana, Murcia.
- Castillo de Larache, Monteagudo (Murcia).
- Alquería-Casa Palacio de Lo Marabú, Rojales (Alicante).
- Tronera en cubo de defensa sobre Pilar de Carlos V, Alhambra (Granada).
- Iglesia de Santa María del Castillo, Cervera de Pisuerga (Palencia).
- Portada principal de la Iglesia de Santa María del Castillo, Cervera de Pisuerga (Palencia).
- Vivienda 10 del yacimiento de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia).
- Murete de tapial en acceso a ciudad de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia).
- Establo vivienda 1 del yacimiento de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia).
- Improntas sobre muro doble altura de tapial en vivienda 6 del yacimiento de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia).
- Muralla defensiva lado suroeste, Castillo de La Asomada. El Valle y Carrascoy (Murcia).
- Encuentro tapias muralla lado sureste, Castillo de La Asomada. El Valle y Carrascoy (Murcia).
- Busto persona. Hombre. Lorca (Murcia).
- Busto persona. Mujer. Lorca (Murcia).
- Exterior torre Nazarí de Huércal-Overa (Almería).
- Interior torre Nazarí de Huércal-Overa (Almería).
- Movimiento de tierras fase excavación, torre Nazarí de Huércal-Overa (Almería).
- Convento de La Merced o de San Ginés, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia).
- Muralla defensiva exterior del castillo de Larache, Monteagudo (Murcia).
- Fachada noreste del Monasterio de los Jerónimos, actual Universidad Católica San Antonio de Murcia, Guadalupe (Murcia).
- Fachada sureste del Monasterio de los Jerónimos, actual Universidad Católica San Antonio de Murcia, Guadalupe (Murcia).

- Impostas interiores del claustro del Monasterio de los Jerónimos, actual Universidad Católica San Antonio de Murcia, Guadalupe (Murcia).
- Bóvedas interiores de la galería sur del claustro del Monasterio de los Jerónimos, actual Universidad Católica San Antonio de Murcia, Guadalupe (Murcia).
- Soporte central en lado norte del exterior del claustro del Monasterio de los Jerónimos, actual Universidad Católica San Antonio de Murcia, Guadalupe (Murcia).
- Banco sillería exterior, alzado sur, del Monasterio de los Jerónimos, actual Universidad Católica San Antonio de Murcia, Guadalupe (Murcia).
- Bajo relieve en sillería. Museo etnológico de Yeste (Albacete).
- Portazgo del castillo andalusí de Yeste (Albacete).
- Plataforma del castillo de Santa Catalina del Monte, o del Verdolay, o de la Luz. Sierra de la Cresta del Gallo, Parque Natural del Valle (Murcia).
- Muralla defensiva exterior del castillo de Santa Catalina del Monte, o del Verdolay, o de la Luz. Sierra de la Cresta del Gallo, Parque Natural del Valle (Murcia).
- Aljibe del castillo de Santa Catalina del Monte, o del Verdolay, o de la Luz. Sierra de la Cresta del Gallo, Parque Natural del Valle (Murcia).



## **2 FOTOGRAMETRÍA: ANTECEDENTES Y ESTADO DE LA CUESTIÓN**

El ser humano siempre ha requerido representar y reproducir el mundo, las construcciones, los recursos naturales, los territorios y los objetos en general. Además, por su afán de conseguir mejorar los resultados a lo largo del tiempo ha desarrollado técnicas, metodologías e instrumentos con los cuales medir aquello que representa y, con ello, ha definido códigos de representación para plasmar sobre soportes planos un entorno tridimensional (figura 002). El resultado de todos estos frentes agrupa conocimientos tecnológicos y científicos de diferentes disciplinas.

El registro con la mayor exactitud posible sobre bienes muebles o inmuebles de diversa naturaleza, con su forma y dimensiones, proporciona la descripción de su estado y supone una fuente inicial de información para su estudio.

Por su parte, la fotografía, ha sido siempre contemplada como una herramienta “neutra” u “objetiva” que plasma el mundo real en un fichero o documento. En este escenario se enclava la fotogrametría digital como una solución al problema dimensional, aquel que delimita las posibilidades de medir y definir en tres dimensiones, sobre lo visible utilizando fotografías y procesando estas con sistemas informáticos.

La fotogrametría digital, por tanto, se convierte en la síntesis del extenso proceso evolutivo de los conocimientos de la óptica, la geometría, la informática, perspectiva, la visión por ordenador y el procesado digital de imágenes. Nacida en el siglo XIX, esta tecnología ha sumado la capacidad de obtener modelos tridimensionales manteniendo las características de color y textura del modelo real y producir resultados de reconocida precisión.

Está considerada una técnica de bajo coste, no se requieren tomas fotográficas excesivamente exigentes y no requiere de personal cualificado en terrenos como la ingeniería o las matemáticas para obtener una descripción volumétrica y los planos del elemento observado. Por estas y otras razones, su uso, y sobre todo en los últimos años, se ha extendido a levantamientos de edificios, ciudades, al registro de monumentos históricos, excavaciones arqueológicas y un largo etcétera.

A lo largo del presente capítulo, y comenzando con el marco normativo que atañe a estas cuestiones, se expondrán aquellos conceptos teóricos de apoyo, necesarios por su uso continuado a lo largo de toda esta tesis, y se establecerá, teóricamente, el nexo de unión entre la representación, el levantamiento y su conjunción multidisciplinar, culminando con un breve repaso histórico que demuestre cómo una solución tecnológica, de ya reconocido prestigio, ha evolucionado en paralelo al progreso industrial y a los conocimientos científicos, permitiendo así, entrar en materia de acuerdo con la consecución de los objetivos propuestos en el capítulo anterior.

Figura 002 (derecha). Modelo tridimensional de valor métrico generado por fotogrametría de la cúpula del interior de la Puerta de Las Armas, Alhambra, Granada. Fuente: Autor.



De la misma forma, instaura un marco teórico, apoyado en una dilatada experiencia profesional, investigadora y docente, para asegurar la salvaguardia, la reutilización y la difusión de la información, estando todo ello fundamentado por casi medio centenar de casos prácticos de diferente índole y naturaleza.

## 2.1. LA FOTOGRAMETRÍA Y EL PATRIMONIO CULTURAL. NORMATIVA Y RECOMENDACIONES

La Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, cuna de la redacción de la presente tesis, tiene, de acuerdo con lo que instaura la Constitución Española, en su ámbito territorial competencias legislativas y ejecutivas en materia de patrimonio cultural por el Estatuto de Autonomía.

Para el correcto entendimiento del aspecto normativo y con la intención de demostrar y justificar las posibilidades reales de la fotogrametría como herramienta de apoyo en todas las fases del proceso de intervención, se recogen y citarán a continuación aquellas leyes, recomendaciones administrativas y organísticas, cartas y definiciones en las que se hace especial hincapié en la necesidad de documentar los trabajos sobre el patrimonio en actuaciones de gestión, conservación y difusión del mismo. Referencias de Querol (2010) con el Manual de Gestión del Patrimonio Cultural, o de Hernández, Alonso o Tapia (2002, 2005 y 2011 respectivamente) hablando sobre los catálogos del patrimonio contribuyen a la exposición de todos estos conceptos.

Autores como Viollet le Duc (1854) ya trataba como porción fundamental de su metodología de restauración en estilo, el requisito de una investigación previa a toda intervención, y especificaba que aquella tenía que ser histórica, exhaustiva y documental, con el objeto de ahondar en la complicada comprensión del monumento. Viollet, además advierte de, previa a la actuación profesional de aquellos que se dedican a este tema, la necesidad de documentar la restauración con dibujos, fotografías y levantamientos planimétricos.

Camilo Boito sintetiza su método restaurador en ocho puntos con el que crea un “incompleto decálogo” y que, incluso en la actualidad, sirve de manual de apoyo a profesionales de la restauración. Es en su apartado 7 cuando define la

necesidad de descripción y fotografía de las diversas fases de trabajo depositados en el monumento o lugar público próximo así como la de publicación de todo ello.

Con la intencionalidad implícita referida incluso en el prólogo<sup>3</sup> de la Ley del Patrimonio Histórico Español de transmitir el beneficio cultural nacional para el desarrollo futuro, esta normativa, evidencia la intromisión de las entidades públicas en su régimen y preservación. Con la llegada de la ley 16/1985, de 25 de junio, se pone punto y final a situaciones complicadas de la legislativa anterior que, en algunos casos, se correspondían con normas adosadas y yuxtapuestas de finalidades dispares. Es con esta ley cuando se manifiesta y ratifica la protección absoluta a cualquier tipo de patrimonio cultural y se pronuncia como objetivo expreso la falta de identificar, inventariar, documentar o declarar aquellos más relevantes (artículo 1).

### **2.1.1. Normativa internacional: principales directrices**

No es hasta comienzos del siglo XX cuando se propaga la concienciación acerca de la importancia y necesidad imperiosa de documentar y catalogar el patrimonio para su preservación y restauración tanto histórico como cultural.

Cuando hablamos de protección es necesario tener en cuenta las directrices internacionales sobre las que, por un lado, se catalogan y registran los bienes y, por otro, se fundan las bases de la conservación y tutela del patrimonio.

Dentro de este capítulo se agrupan las tres principales directrices (La Carta de Venecia<sup>4</sup>, Carta del Restauero<sup>5</sup> y la Carta de Atenas<sup>6</sup>) que han permitido asentar unas bases internacionales ante la necesidad de conservar, estudiar, registrar y proteger el patrimonio y que nos sirven, en primera instancia, como justificación y, en segunda, como apoyo en torno a la necesidad imperiosa de documentar el patrimonio.

Estas, vigentes en la actualidad, sirvieron de punto de arranque para la

---

<sup>3</sup> "El principal testigo de la contribución histórica de los españoles a la civilización universal y de su capacidad creativa contemporánea (...) que, como elemento de identidad cultural, merece a la sensibilidad de los ciudadanos, puesto que los bienes que lo integran se han convertido en patrimoniales debido exclusivamente a la acción social que cumplen, directamente derivada del aprecio con que los mismos ciudadanos los han revalorizado."

<sup>4</sup> Carta de Venecia [[http://ipce.mcu.es/pdfs/1964\\_Carta\\_Venecia.pdf](http://ipce.mcu.es/pdfs/1964_Carta_Venecia.pdf)].

<sup>5</sup> Carta del Restauero [[http://ipce.mcu.es/pdfs/1932\\_Carta\\_Restauero\\_Roma.pdf](http://ipce.mcu.es/pdfs/1932_Carta_Restauero_Roma.pdf)].

<sup>6</sup> Carta de Atenas [[http://ipce.mcu.es/pdfs/1931\\_Carta\\_Atenas.pdf](http://ipce.mcu.es/pdfs/1931_Carta_Atenas.pdf)].

posterior declaración de la UNESCO y otros documentos (europeos e iberoamericanos) de diferente índole como, por ejemplo, territorial, conceptual y jurídico y que, asientan la base para, posteriormente demostrar con ejemplos prácticos, como la técnica fotogramétrica es una herramienta necesaria y apropiada para acometer correctamente las labores dictadas por la normativa.

Dada la existencia y variedad jurídica de los documentos proteccionistas nos encontramos con lo recogido a continuación (tabla 001):

Recomendaciones o Cartas
Documentos jurídicamente no vinculantes
Presentan un carácter orientativo o indicativo. Pueden aplicarse a voluntad en los diferentes estados.
Convecciones o Convenios
Tratados multilaterales
Consignados para fortalecer la protección del patrimonio cultural a nivel global. Se establecen las medidas/recomendaciones a tener en cuenta de cara a la protección de un bien o conjuntos de bienes.
Directivas Comunitarias
Normas
Ratificadas en el Parlamento Europeo y fuerzan a cada país de la Unión Europea a su cumplimiento.

Tabla 001. Tabla resumen de variedades jurídico-documentales. Fuente: Autor.

Dentro de las directrices de ámbito internacional, este apartado contiene:

- Carta de Atenas
- Carta del Restauero
- Carta de Venecia
- Otras directrices de interés.

### 2.1.1.1. *Carta de Atenas*

La Carta de Atenas es el manifiesto redactado en 1931 fruto del IV Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM) durante la Conferencia de Expertos para la Protección y Conservación de Monumentos de Arte y de Historia para la Restauración de Monumentos Históricos. Este documento, que aunque con el mismo nombre que el desarrollado en 1933 contempla ítem muy diferentes, se organiza en 10 capítulos y establece 7 resoluciones, cuyo afán por el amparo de los grandes monumentos arquitectónicos se resume en los términos que acuña Gustavo Giovannoni como “restauración científica”.

Entre las importantes aportaciones que ratifican nuestro estudio está la perspectiva internacional en torno a la elaboración de documentación y divulgación a la que se hace referencia en su artículo 6° donde reconoce al monumento como documento de civilización y cultura y donde, a pesar de no especificar recomendaciones concretas en relación a la documentación previa a la intervención, si determina que las supresiones de la fábrica deben quedar debidamente documentadas y expuestas en un lugar próximo del monumento y acredita el respaldo en la creación de registro apoyado en fotografías y notas en forma de archivo que conserven los documentos relativos a los propios monumentos.

Con esta Carta se aboga también por la importancia de las custodias de lugares históricos, la necesidad de publicación de inventarios y archivos documentales sobre monumentos y, siempre que sea posible, que se apliquen técnicas y materiales modernos durante las labores de restauración, facilitando así, labores posteriores de difusión y acción educativa (Hernández, 2002).

### 2.1.1.2. *Carta del Restauo*

Constituida en 1932 en Roma, la Carta del Restauo, se redacta por el Consejo Superior de Antigüedades y Bellas Artes, fija los criterios relacionados con la intervención en el patrimonio histórico y pone límite a las labores de reconstrucción.

Se establece como un compendio de normas para la restauración e intervención en el patrimonio, en inicio para el italiano, aunque pronto es adoptado por diferentes países europeos, y establece, en torno a su artículo 4, la salvaguar-

da como cualquier medida conservadora que no implique la intervención directa sobre la obra y, por restauración, aquella intervención encaminada a mantener vigente y facilitar la transmisión íntegra al futuro de obras u objetos por ella contemplados.

Es ya en su artículo 6 cuando, en relación a los fines mencionados por su artículo 4 y para todas las obras definidas en los artículos 1, 2 y 3, que implanta la prohibición en el epígrafe 1º de complementar estilística o analógicamente, incluso en formas simplificadas y aunque existan documentos gráficos o plásticos que puedan indicar cuál hubiera sido el estado o el aspecto de la obra completa, realizar alteraciones o intervenciones en esta.

Haciendo efectiva esta afirmación, se hace evidente la necesidad documental previa irrupción de los trabajos de restauración o salvaguarda de cara a, en el futuro, disponer de documentos gráficos válidos y evidenciales del estado actual en que se encontraba el bien patrimonial antes de que sufriera o le sobreviniera la actuación conservadora. Se potencia así el interés histórico y documentalista a costa de los valores tipológicos evidenciando así, en la gran mayoría de los casos, la presencia elementos extraños o añadidos. La documentación del monumento es por tanto fundamental en las actuaciones sobre el patrimonio.

Además, La Carta del Restauo, dedica especial atención a la documentación:

“Como en las excavaciones, así también en la restauración de los monumentos será condición esencial y determinante que una documentación precisa acompañe a los trabajos además de una relación analítica recogida en un diario de restauración e ilustrada con dibujos y fotografías, de modo que todos los elementos determinados en la estructura y en la forma del monumento, todas las fases de la obra de recomposición, de liberación, de complementación, queden reflejadas de modo permanente y seguro”<sup>7</sup>.

Ya en el último apartado del capítulo 5 se dice que:

“...cada intervención debe ser estudiada previamente y argumentada por escrito y

---

7 CESCHI, C. Teoría e storia del restauro. Mario Bulzoni Editori. Roma 1970, p. 211.

durante su desarrollo deberá llevarse un diario, al que seguirá una relación final, con la documentación gráfica de antes, durante y después de la intervención. Se documentarán también todas las investigaciones y análisis que eventualmente se realicen con auxilio de la Física, la Química, la Microbiología y otras ciencias. De toda esta documentación se tendrá copia en los archivos del Ministerio y del «Istituto Centrale del Restauro».

Y, por último, en su Anexo A sobre Instrucciones para la salvaguarda y restauración de antigüedades se dicta que:

“En concomitancia con los diversos procedimientos a emplear en cada caso, será de todas maneras imprescindible el oportuno reconocimiento del terreno, con intención de recoger todos los eventuales rastros superficiales, los materiales cerámicos esparcidos, la documentación de los restos que afloren, recurriendo para ello a diversos métodos de prospección (aérea, eléctrica, electromagnética...) del terreno, a fin de obtener el conocimiento más completo posible de su naturaleza arqueológica...”.

### 2.1.1.3. *Carta de Venecia*

La Carta de Venecia constituye un trabajo que ningún especialista puede obviar pues su espíritu constituye todo aquello que se considera dentro de la ley (Gazzola, 1971). Es expedida en 1964, durante el II Congreso de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, y aceptada un año después y habla de la Conservación y la Restauración de Monumentos y de Conjuntos Histórico-Artísticos.

Significó un importante paso en la aplicación, a nivel mundial, de los principios normativos relacionados con la teoría y práctica restauradora en la arquitectura. Dada la catástrofe, en muchos sentidos, ocasionada por la Segunda Guerra Mundial, el ámbito urbano-arquitectónico se orienta en torno al principio de “restauración científica” y su inquietud por analizar lo promulgado en la Carta de Atenas y por establecer una necesidad clara de documentar las obras en todas sus fases históricas en torno a los criterios de restauración.

Fruto de esta destrucción, se resuelve, por un lado, repasar el fundamento de la “restauración científica”, presentado con la Carta de Atenas, y focalizar la intencionalidad hacia un restauro crítico que, propiciado por Renato Bonelli y Roberto Pane, se inclina por la valorización de lo artístico de una obra y elude

el embarcarse en un simulado artístico histórico, documental y/o cultural (Bonelli, 1987). Durante este congreso quedó patente la necesidad de un organismo no gubernamental, actualmente Consejo Internacional de Monumentos y Sitios o ICOMOS<sup>8</sup>, que custodiara y difundiera ideas y técnicas de restauración de monumentos.

El documento manifiesta las ideas acerca de la ampliación de la percepción de monumento y custodia ambiental y extiende la concepción, con independencia de su embergadura, de monumento histórico al ambiente urbano y paisajístico y a la creación arquitectónica aislada. Este desarrollo se desglosa en siete secciones y dieciséis artículos donde se establece como prioritario su artículo 16 en torno a la documentación y publicación y que dice así:

“Los trabajos de conservación, de restauración y de excavación irán siempre acompañados de la elaboración de una documentación precisa, en forma de informes analíticos y críticos, ilustrados con dibujos y fotografías. Todas las fases del trabajo de desmontaje, consolidación, recomposición e integración, así como los elementos técnicos y formales identificados a lo largo de los trabajos, serán allí consignados. Esta documentación será depositada en los archivos de un organismo público y puesta a la disposición de los investigadores; se recomienda su publicación.”

En torno a esta afirmación se demuestra cómo la documentación del patrimonio, no ya sólo en torno a una fase inicial de inspección y reconocimiento previo a proyecto, sino combinada a todas las fases del trabajo, requieren de una documentación que deberá ser custodiada y destinada para su empleo durante las labores de conservación, para investigación y/o divulgación.

#### 2.1.1.4. *Otras directrices*

Al igual que sucede con las convenciones y consejos mencionados anteriormente y que han dado como fruto numerosas directrices para el apoyo a la documentación del patrimonio en diferentes ámbitos, podemos distinguir otras como las contempladas en la tabla 002:

---

<sup>8</sup> International Council on Monuments and Sites [<http://www.icomos.org/>].

## Convención para la Salvaguarda del Patrimonio Arquitectónico de Europa o Convención de Granada de 1985

Para la salvaguardia del patrimonio arquitectónico de Europa, en su artículo 2º establece:

“Con el fin de identificar con precisión los monumentos, conjuntos arquitectónicos y sitios susceptibles de ser protegidos, cada País se compromete a realizar el inventario de los mismos y, en caso de amenazas graves sobre los bienes de que se trata, a establecer en el más corto plazo posible una documentación apropiada.”

## Carta de Cracovia<sup>9</sup> del 2000

Vinculada con el patrimonio arquitectónico. Capítulo de Objetivos y Métodos, epígrafe 4º:

“Debe evitarse la reconstrucción en el estilo del edificio... puede ser excepcionalmente aceptada a condición de que esta se base en documentación precisa e indiscutible.”

Capítulo de Clases de Patrimonio Edificado:

“Cualquier intervención que afecte al patrimonio arqueológico, debido a su vulnerabilidad,... debe ser totalmente documentada.”

## Carta de ICOMOS, Québec<sup>10</sup> 2008

Carta ICOMOS para Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural. Principio 2 epígrafe 1:

“La interpretación debe mostrar un abanico de la información existente,... se deben documentar, archivar y hacer accesibles al público.”

Epígrafe 4:

“Las reconstrucciones visuales, ya sean realizadas por artistas, arquitectos o diseñadas mediante ordenador se deben basar en un análisis detallado y sistemático incluyendo el estudio... así como de la fotografía. Las fuentes de información en las que se basen tales reproducciones deben documentarse de forma clara y es preciso facilitar reconstrucciones alternativas, cuando esto sea posible, basadas en las mismas evidencias para su comparación.”

Epígrafe 5:

“Los programas y actividades de interpretación y presentación se deben también documentar y archivar para futuras reflexiones y referencias.”

Tabla 002. Tabla resumen de directrices reseñables. Fuente: Autor.

<sup>9</sup> Carta de Cracovia [[http://ipce.mcu.es/pdfs/2000\\_Carta\\_Cracovia.pdf](http://ipce.mcu.es/pdfs/2000_Carta_Cracovia.pdf)].

<sup>10</sup> Carta de ICOMOS, 16ª Asamblea General del ICOMOS [<http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-646-2.pdf>].

A lo largo del siglo XX, todas estas cartas, resoluciones y recomendaciones relacionadas con la conservación y documentación del patrimonio han ido adquiriendo valor e importancia y, entre otras cosas, facilidad de alcance lingüístico y administrativo y de difusión donde, por ejemplo, en España podemos consultar todas ellas en la sección de Conservación y Restauración de la página de internet del Instituto del Patrimonio Cultural Español, dentro del apartado de Criterios de Intervención arquitectónico.

### 2.1.2. Normativa española

En lo que respecta a la legislación nacional, podemos decir que esta responde a tres graduaciones administrativas:

- Patrimonio Municipal. Normativa Urbanística con los planes reguladores.
- Patrimonio de las Comunidades Autónomas. Leyes autonómicas.
- Administración del Estado. Ministerio de Cultura con sus leyes estatales.

Las leyes estatales que tutelan en la actualidad la protección, conservación y documentación se remontan a la Constitución de 1978.

#### 2.1.2.1. *Ley del Patrimonio Histórico Español*

La evolución del patrimonio viene íntimamente ligada al marco normativo que se ha ido aprobando a lo largo del siglo pasado. El Patrimonio Histórico Español (Ley 16/1985, de 25 de junio), como elemento de personalidad cultural, constituye la principal seña de la aportación histórica de los españoles al conjunto de la civilización.

El principio de la Ley de Patrimonio Histórico Español se remonta al año 1883 (Real Orden de 6 de diciembre) con el anuncio de la Ley de Antigüedades (Navarro, 1897), en aquel momento lo que importaba era el valor de la antigüedad y su valor artístico e histórico (Barrero, 1990).

En esta Ley, ya en el apartado 3 de su artículo 39, se advirtieron innovaciones vinculadas a las corrientes a las que se hacen referencia en la introducción a este capítulo y que fueron iniciadas en Italia por Camilo Boito. Estas dicen que:

“Las restauraciones de los bienes a que se refiere el presente artículo respetarán las aportaciones de todas las épocas existentes. La eliminación de alguna de ellas sólo se autorizará con carácter excepcional y siempre que los elementos que traten de suprimirse supongan una evidente degradación del bien y su eliminación fuere necesaria para permitir una mejor interpretación histórica del mismo. Las partes suprimidas quedarán debidamente documentadas»<sup>11</sup>.

No es hasta 1931, con la Constitución y, más concretamente en su artículo 45, cuando se hace referencia por primera vez al Patrimonio Histórico Español. En este se dice que:

“Toda riqueza artística e histórica del país, sea quien fuese su dueño, constituye Tesoro Cultural de la Nación y estará bajo la salvaguardia del Estado, que podrá prohibir su exportación y enajenación y decretar las expropiaciones legales que estimase oportunas para su defensa. El estado organizará un Registro de la riqueza artística e histórica, asegurará su celosa custodia y atenderá a su perfecta conservación. El Estado protegerá también los lugares notables por su belleza natural o por su reconocido valor artístico e histórico.”

La Ley de Patrimonio Artístico Nacional sobre la Defensa, Conservación y Acrecentamiento del Patrimonio Histórico-Artístico Nacional, cuya vigencia casi alcanzó el medio siglo, se configura con la intencionalidad de dar respuesta a las disposiciones constitucionales con la intención final de poner en armonía la cantidad de decretos y normativas existentes.

Esta ley sólo fue modificada levemente a través de diversas órdenes y decretos-ley (Fernández y Díaz, 1996) siendo, asimismo, un manuscrito legal que permaneció en vigor hasta que, en 1985, se informó de, la hasta ahora vigente, Ley del Patrimonio Histórico Español.

Por todo ello, la Ley 16/1985 puede considerarse como conciliadora pues pone fin al cúmulo de dictados y normas antiguas y que, cuya heterogeneidad, dificultaba (figura 003) la apropiada interpretación, lectura y/o aplicación.

---

<sup>11</sup> Artículo 39 de la Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español.

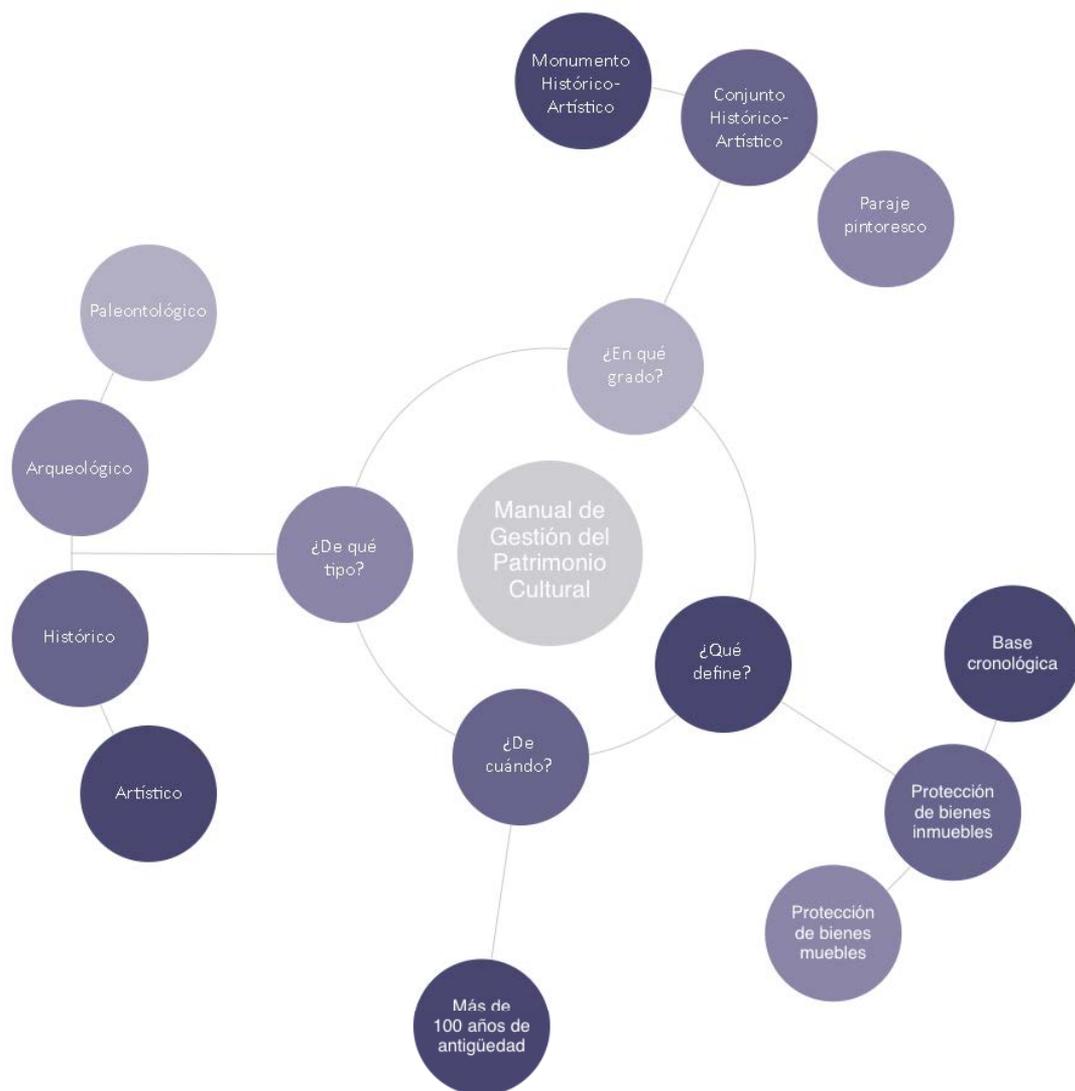


Figura 003. Tabla de exposición simplificada en torno al estudio del patrimonio de acuerdo con el Manual de Gestión del Patrimonio Cultural (Querol, 2010). Fuente: Autor.

El artículo 1 de la presente ley se considera uno de los más sustanciales. Este establece que los bienes más destacables deben ser declarados Bienes de Interés Cultural (BIC) con lo que estos bienes han de estar convenientemente puestos al servicio del pueblo, coexistiendo y superponiendo la titularidad pública sobre la privada haciendo recaer la tutela al Estado con la convicción de que con su disfrute se facilita la senda a la cultura y que ésta, en definitiva, es el camino correcto hacia el perfeccionamiento y mejora de los conocimientos en materia de análisis y aprovechamiento de los valores históricos y culturales nacionales.

Esta Ley constituye diferentes categorías de protección, que se corresponden con diferentes categorías legales, y en las que, como podemos ver en la tabla anexa (tabla 003), siempre, independientemente del nivel de protección del bien patrimonial, contemplan la documentación como proceso indispensable en toda labor de fundamento de valor, de resguardo y de mantenimiento.

#### 1º nivel

Gozan del nivel máximo de protección. Se consideran Bienes de Interés Cultural y por ello disfrutan de una singular protección y tutela (art. 9) que se extiende a los muebles e inmuebles de aquel patrimonio que, de forma más clara, adviertan tal protección. Se inscriben en el Registro de Interés Cultural de acuerdo con cinco categorías que presentan diferentes grados de protección según el artículo 14.2.

**Categoría I.** Monumento Histórico (art. 15.1). Quedan recogidos aquellos bienes inmuebles que componen realizaciones arquitectónicas o de ingeniería, así como obras de escultura colosal, siempre que tengan interés histórico, artístico, científico o social. El concepto de “edificio singular” o “monumento” se percibe como eje de giro en torno al cual se disponen los preceptos protectores respecto al bien de valor o mérito histórico, arqueológico, artístico, etc.

**Categoría II.** Jardín Histórico (art. 15.2). Considerado así el espacio definido, fruto de la distribución dada por el hombre, de componentes naturales. En función de su origen o pasado histórico y/o por su atractivo estético, sensorial o botánico se establece su interés.

**Categoría III.** Conjunto Histórico (art. 15.3). Hace referencia a la congregación de bienes de origen inmobiliario, condicionada por una estructura física y que, ya sea continua o dispersa, constituye una unidad de asentamiento. La disposición distintiva de la evolución de una agrupación humana es indispensable y contribuye al fundamento de valor de uso o disfrute y al testimonio de su cultura.

**Categoría IV.** Sitio Histórico (art. 15.4). Se trata de un lugar, terreno o paraje natural íntimamente relacionado a tradiciones del pasado o populares, acontecimientos o recuerdos de obras culturales o naturales, a creaciones del ser humano o a aquellas que tienen un valor histórico, paleontológico, antropológico o etnográfico.

**Categoría V.** Zona Arqueológica (art. 15.5). Circunscribe el paraje natural o lugar en el que

hay bienes muebles o inmuebles aptos para ser visitados, contemplados, grafiados y/o repasados con metodología arqueológica con independencia de si continúan o no en el lugar en que yacían o han sido extraídos y de si éstos se presentan superficialmente, en el subsuelo o bajo las aguas territoriales españolas.

### 2º nivel

Disfrutan de un nivel adecuado de protección. Se encuentran los bienes muebles inscritos en el inventario General.

Según el Real Decreto 111/1985, en su artículo 24, establece como rango de aplicación a aquellos bienes muebles constituyentes del patrimonio histórico español, que no estén declarados de interés cultural, y que presenten especial relevancia por razones ligadas a su valor artístico, histórico, arqueológico, cultural, científico o técnico. Con la llegada del Real Decreto 64/1994, se incluyen en torno a estas obligaciones a las Comunidades Autónomas, estableciendo que colaborarán en el catálogo/inventario general a los efectos advertidos en el presente artículo 24.6 reproduciéndose a escala autonómica con su legislación sectorial.

### 3º nivel

Disfrutan de un nivel adecuado de protección. Son bienes muebles o inmuebles siendo integrantes del Patrimonio Histórico Español sin declaración expresa.

Enmarcan a los bienes del patrimonio histórico que no están declarados Bienes de Interés Cultural ni están recogidos en la relación general o catálogos convenientes. Aún así, se garantizará su resguardo y mantenimiento aún cuando esto no se indique.

Tabla 003. Histograma de categorías de protección de acuerdo con la Ley 16/1985. Fuente: Autor.

De otro lado, conserva el ineludible movimiento catalogador y el trascendente Registro de Bienes de Interés Cultural que son calificados como una labor de clasificación, inventario y catalogación. Contiene y mantiene que, los que hayan sido, únicamente, manifestados como Bienes de Interés Cultural, se han de inspeccionar. Esto quiere decir que serán aquellos que ostenten el grado máximo, un valor singular, una notabilidad extraordinaria y, a su vez, disfruten de haber

sido constatados, para su tipificación y exposición de su emplazamiento. Con este trabajo de inventario, comenzaron una disposición de fomento encaminada a la elaboración de producción de inventarios, intervenciones de restauración y capacitación de obras de arte que favoreció la puesta en valor de infinidad de bienes patrimoniales y que, comúnmente, recibe el nombre de 1% cultural.

Con todo esto justificamos y comprobamos como la labor y necesidad de documentar, inventariar, representar y catalogar gráfica o fotográficamente derivan en un fomento y acrecentamiento de valor en los bienes patrimoniales independientemente del nivel de protección adquirido por aquellos.

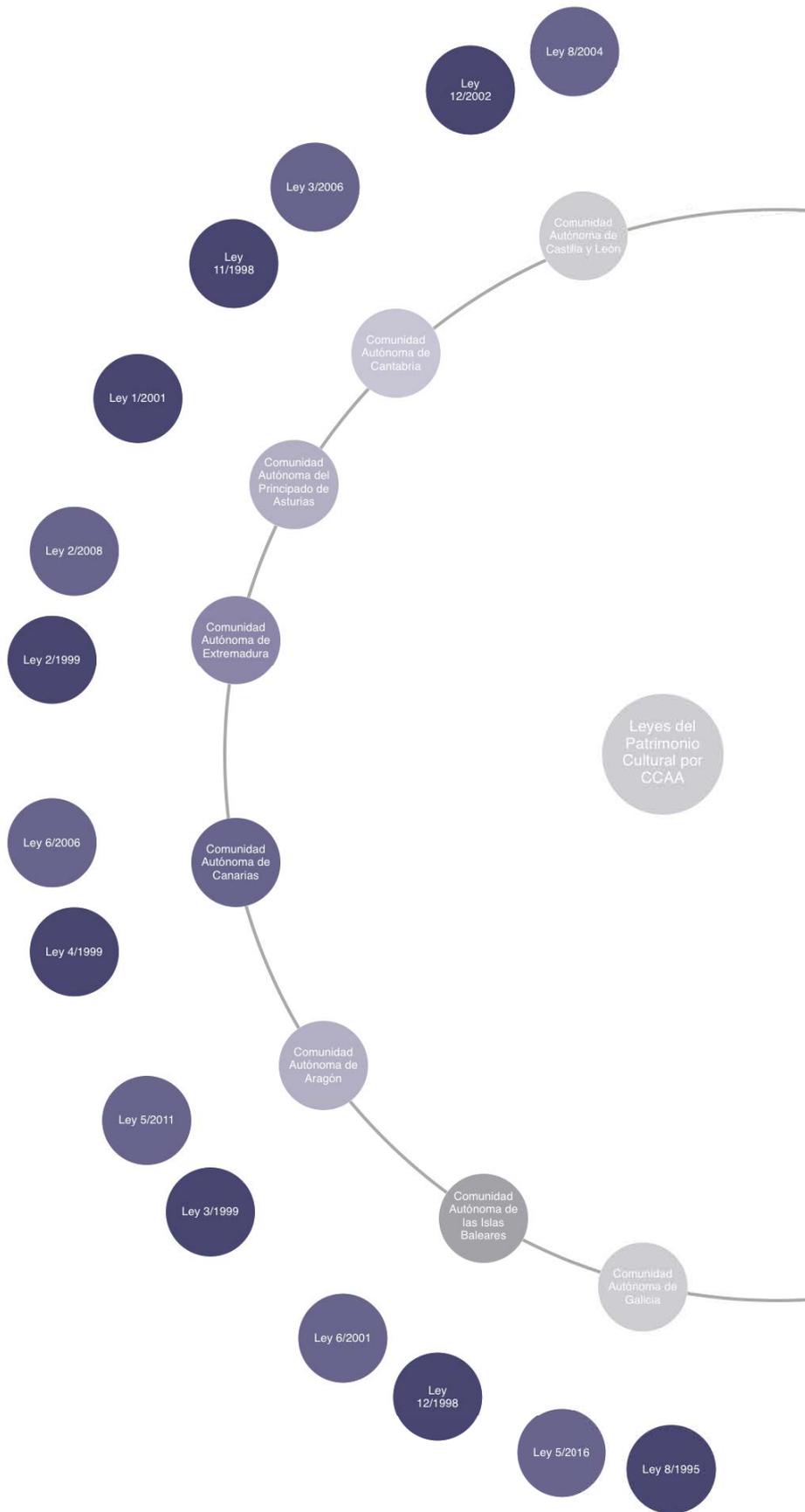
#### *2.1.2.2. Las Comunidades Autónomas y la importancia de la documentación*

Las Comunidades Autónomas, con autoridad para gestionar su patrimonio (figura 004), sobre todo desde 1990, conciben normativa autonómica que regulariza el patrimonio contenido en su área territorial.

Dentro de ellas, a veces, aparecen aportaciones a la Ley del Patrimonio Histórico Español en forma de mecanismos de actuación o aclaraciones en torno a la necesidad de inventariar y documentar el patrimonio con la intención final de facilitar su mantenimiento o protección.

Dado que esta tesis se desarrolla en Murcia, en el ámbito Regional, por ejemplo, podemos encontrar obligaciones (pudiendo hacerse extensible a otras Comunidades Autónomas) en torno al registro y documentación. Dentro de la Ley 4/2007 de Normas Reguladoras del Patrimonio Cultural en esta provincia, en su artículo 66 epígrafe 2º de protección, se establece:

“Cuando los bienes inmateriales de valor etnográfico de la Región de Murcia se encuentren en previsible peligro de desaparición, pérdida o deterioro, la dirección general con competencias en materia de patrimonio cultural promoverá y adoptará las medidas oportunas conducentes a su protección, conservación, estudio, documentación científica, valorización y revitalización y a su recogida por cualquier medio que garantice su protección y su transmisión a las generaciones futuras.”



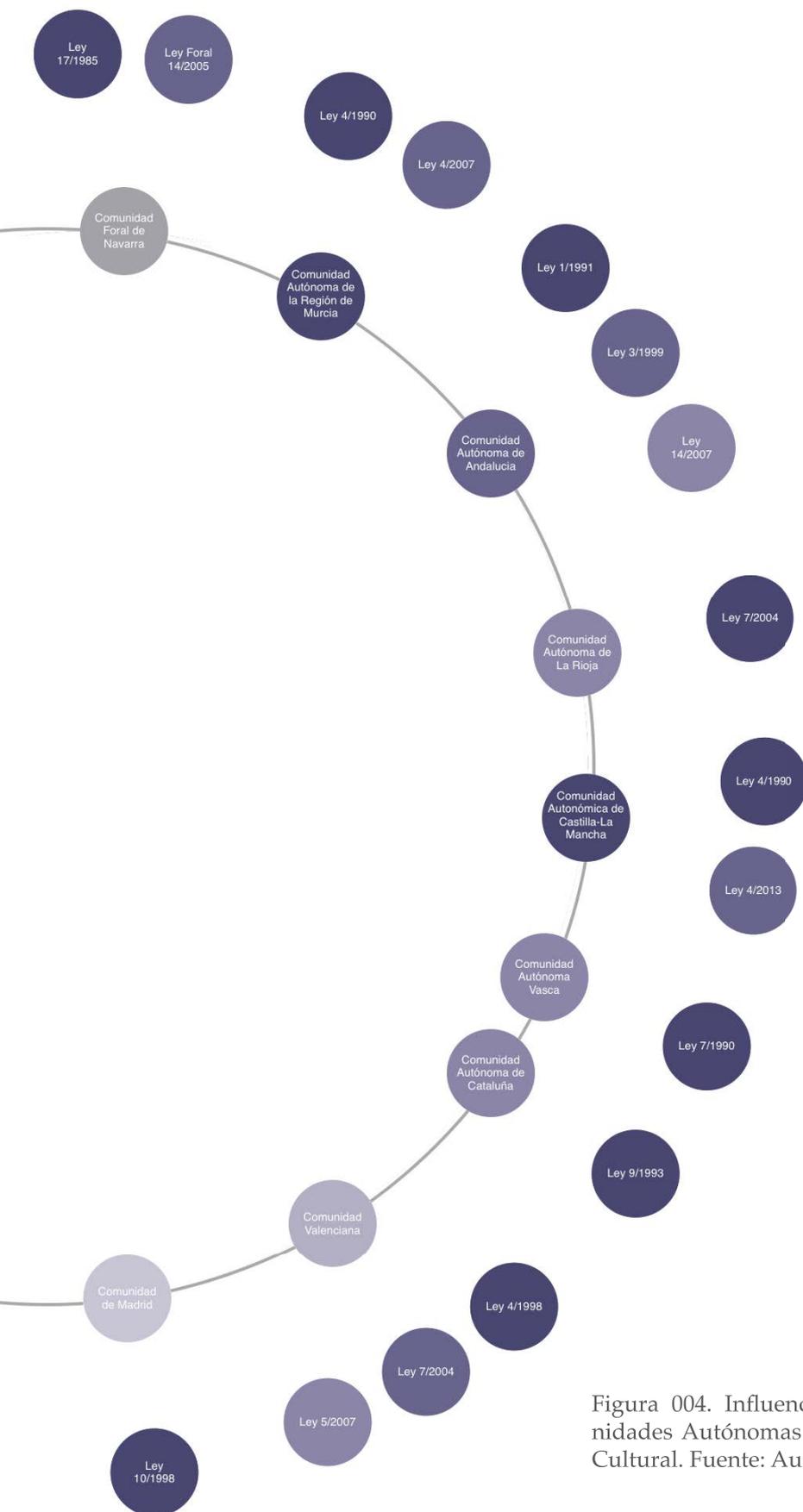


Figura 004. Influencias legales por Comunidades Autónomas en torno al Patrimonio Cultural. Fuente: Autor.

### 2.1.3. Los modelos administrativos del patrimonio y la documentación patrimonial

La gestión y salvaguardia del patrimonio es complicada dada la disparidad de ambientes en torno a los que se puede enfrentar. Este patrimonio, además, es causa de controversia desde inicio (con su definición) hasta final (pasando por su ámbito de aplicación e incluso al llegar a su más amplia cabida representativa).

Este debate/discusión adquiere numerosas formas, dada la gran variedad de frentes a contemplar y la necesidad de conocimiento y catalogación de bienes, y atendiendo a un modelo reiterativo de cara a la confección del Catálogo Monumental (Isidro, 2004). Los más recientes trabajos sobre este propósito inacabado (Esteban y García, 2007), e incluso, las referencias metodológicas arqueológicas, en inicio miméticas (Del val, 2000) por su singularidad interna, han desarrollado una reflexión conceptual propia.

Ya en 1985 se origina una significativa novedad que implica la concesión de una efectiva ruptura con la etapa antes referenciada. Con la aparición de la Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico se implanta un novedoso planteamiento en torno al concepto de los bienes y su documentación. De esta forma, a la labor de conocimiento, engrandecimiento, restauración y conservación se suma la de uso/empleo por medio de la introducción social en la idea y de acuerdo con los estándares de origen internacional (figura 005) que, aunque con carácter genérico, asumen y establecen los cimientos de la protección, intervención y puesta en valor del patrimonio arqueológico en la trama de las procedimientos urbanísticos del ámbito rural y urbano, precisando una moderna técnica provisoria, con la que, según posteriores diligencias, que a día de hoy están completamente admitidas y que en su día fueron indudablemente innovadoras, componen por ejemplo, el empleo del nombrado 1% cultural.

De acuerdo con Querol (2010) podemos englobar como Instituciones del Patrimonio Cultural aquel conjunto que engloba a archivos, museos, bibliotecas y todo aquel lugar en el que se desarrollen uno o varios de los objetivos relacionados con la Gestión del Patrimonio Cultural.

Así, las instituciones españolas se establecen en diferentes niveles en fun-

ción de la ocupación sobre la gestión del patrimonio que desarrollan, comenzando con la estatal, continuando con la autonómica/regional y terminando en la local.

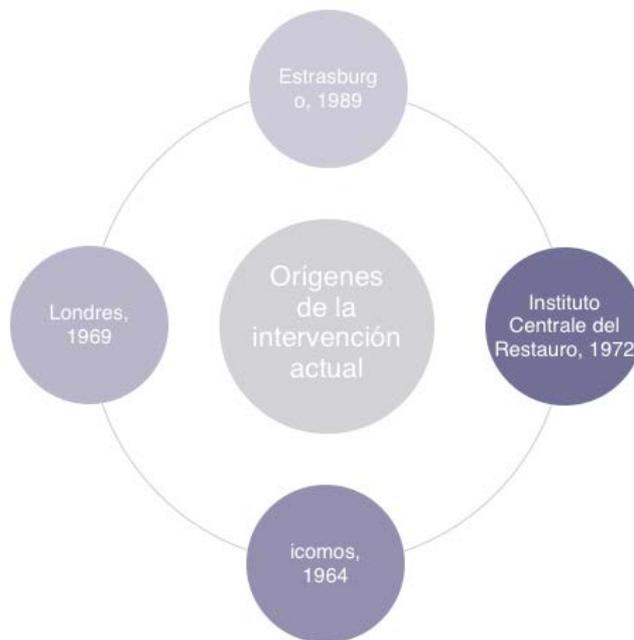


Figura 005. Estándares de origen internacional para la constitución de las medidas de intervención actual. Fuente: Autor.

Dentro del panorama estatal, las dos leyes más importantes que regulan el patrimonio son el Real Decreto 111/1986 y la Ley 16/1985 de Protección y Conservación del Patrimonio Histórico Español (figura 006). Por otro lado, y atendiendo a lo dictado por la Constitución Española, las Comunidades Autónomas son las que tienen competencias en torno al patrimonio monumental en materia de conservación (art. 148).

Los Planes Nacionales de Conservación y Restauración de Bienes del Patrimonio Histórico Español tienen, como baluarte, los trabajos de catalogación e inventario de bienes de los años 1979 a 1982 en los que se intervino en 47 provincias (sólo 39 terminaron) con el objetivo de lograr un incremento ilustrativo de los conjuntos arquitectónicos de relevancia en España. En la actualidad, la utilidad del catálogo, fruto de un ambicioso proyecto documental, es muy diferente a la que fue creado y muestra la idea de patrimonio del siglo pasado con el número y nombre de identificación del bien, su localización, características, tipología, uso,

actuaciones, descripción y bibliografía, sirviendo así de surtidor para el mantenimiento y protección del patrimonio cultural.

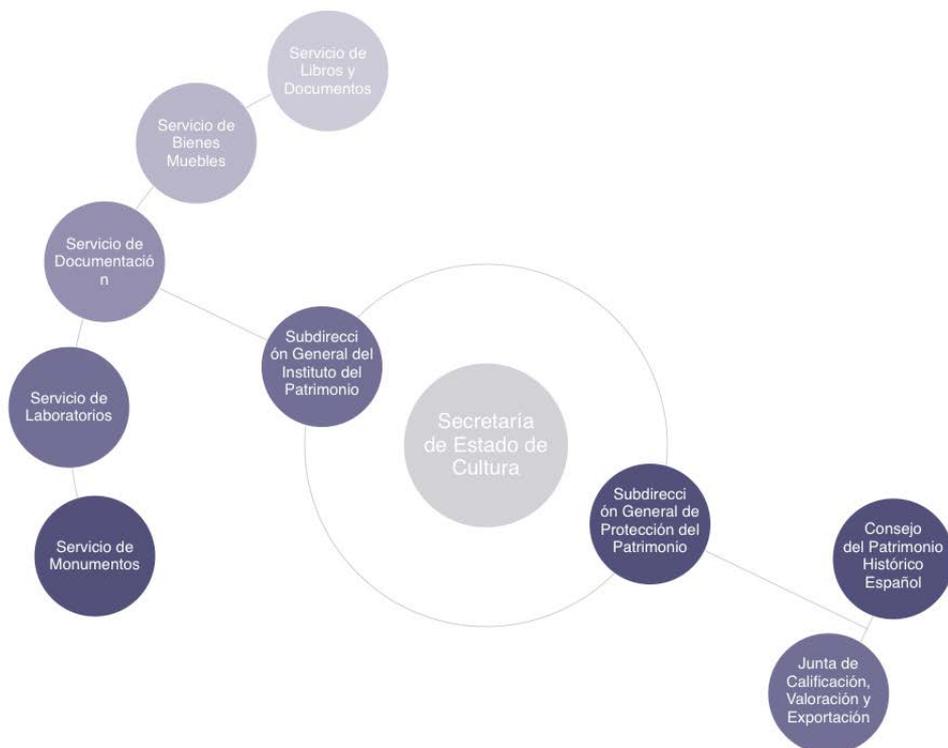


Figura 006. Estructura administrativa en relación con el Patrimonio Histórico Español atendiendo a lo establecido por el Ministerio de Cultura. Fuente: Autor.

Además, se hace indispensable destacar la labor de dos organizaciones instauradas con la finalidad de proteger el patrimonio del ámbito nacional, estas son el Consejo Superior de Investigaciones Científicas denominado CSIC<sup>12</sup> (figura 007) y el denominado Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, reconocido por las siglas IAPH<sup>13</sup>.

El primero de ellos se crea en 1939, reemplaza a la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, creada en 1907, y se constituye como una institución pública cuyo objeto es la investigación científica en España.

Inició su trabajo con ocho patronatos y actualmente cuenta con centenares de institutos nacionales e internacionales.

12 Consejo Superior de Investigaciones Científicas [<http://www.csic.es/>].

13 Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico [<http://www.iaph.es/web/>].

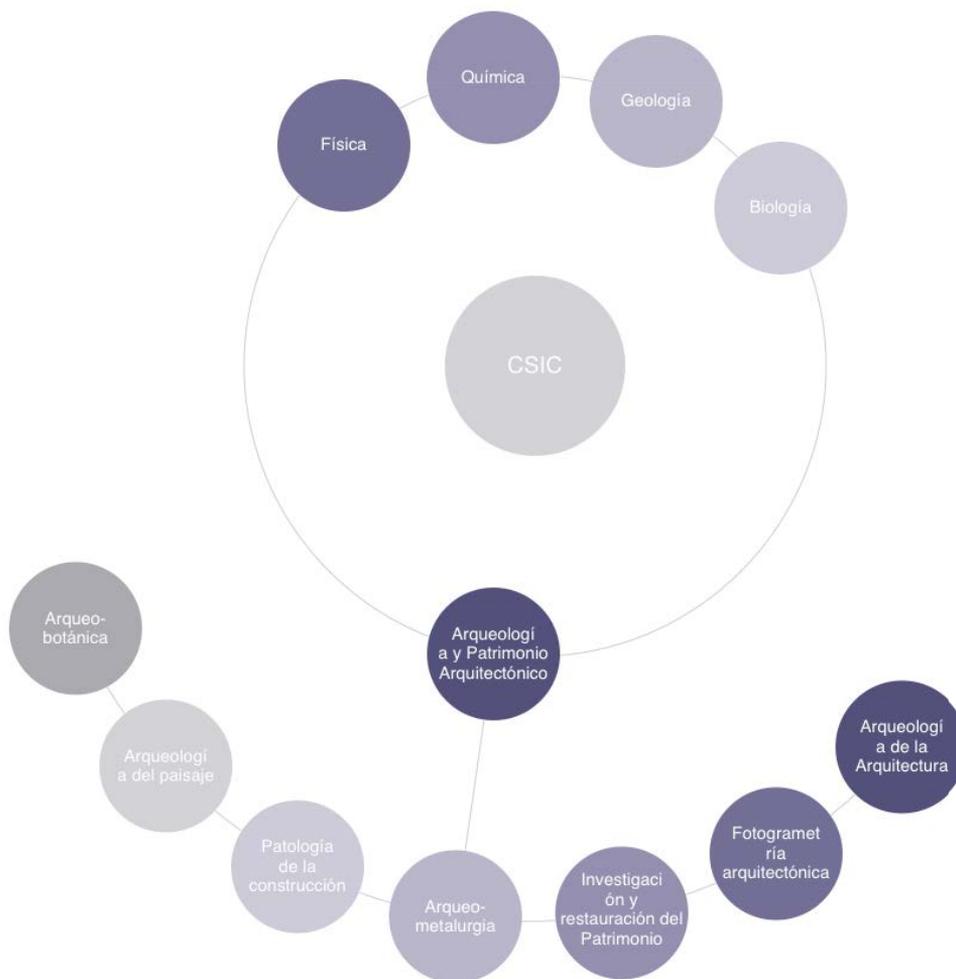


Figura 007. Tabla resumen áreas de actuación y líneas de trabajo del CSIC. Fuente: Autor.

El segundo, IAPH, se crea en 1989 y simboliza una institución científica, vinculada a la Conserjería de Cultura de la Junta de Andalucía, dedicada a la investigación y al desarrollo y cuyas funciones, bien definidas, quedan recogidas en el Decreto 75/2008, concretamente en su artículo 3.1.

Se estructura como un organismo cuyos principales fines son la investigación e innovación, la intervención, documentación, comunicación y desarrollo del Patrimonio Cultural contenido en los planes de investigación, desarrollo e innovación de la Junta de Andalucía.

Es de destacar que esta institución ha instituido el denominado RAAC, acrónimo del Registro Andaluz de Arquitectura Contemporánea, que procura salvaguardar la arquitectura del siglo XX.

## 2.2. EVOLUCIÓN DE LA FOTOGRAFÍA A LA FOTOGRAMETRÍA

Desde el origen de los tiempos, el hombre, ha sentido la necesidad de representar su entorno y, especialmente todo aquello que lo rodeaba y formaba parte de su vida cotidiana, de la forma más fidedigna posible.

En ocasiones y dependiendo de la época, estas formas de representación, servían para atesorar piezas, formas o características formales de aquello que interesaba conservar aún después de su desaparición espacial o temporal.

### 2.2.1. Antecedentes históricos

El testimonio más antiguo custodiado, considerado uno de los orígenes de la representación gráfica, confeccionado en torno al 3.300 a.C. (Aragónés, 2004) y relacionado con la obtención de medidas de la realidad, es una tablilla sumeria conservada en el museo de Estambul que sitúa al origen de la geometría en el Medio Oriente y que es tomada como procedimiento catastral para el conocimiento de las terminaciones de las tierras de cultivo tras su desaparición por las crecidas del río y su posterior replanteo sobre el limo dejado por las aguas tras las crecidas.

Cuando buscamos una correspondencia entre la evolución de las matemáticas y el dibujo y la relación (figura 008) complicada que durante ciertos periodos de la historia han tenido, no podemos pasar por alto la obra de Maya Hambly: HAMBLY 1988, donde se estudia en detalle que, aquello que en la actualidad es tan común, como entender el levantamiento (usando la técnica que sea) con el apoyo en la expresión gráfica y las matemáticas, no siempre ha sucedido así.

Es evidente que durante algunas etapas, sobre todo si tenemos en cuenta el avance quizá algo demorado en los levantamientos, ha existido un distanciamiento real entre las ambas disciplinas que han propiciado el ralentizamiento de las técnicas de levantamiento. Por el contrario, la relación directa y paralela del dibujo y las matemáticas han favorecido que los progresos en expresión gráfica, apoyada en todo momento por las matemáticas, terminara incidiendo en la evolución de los métodos aplicados en los levantamientos.

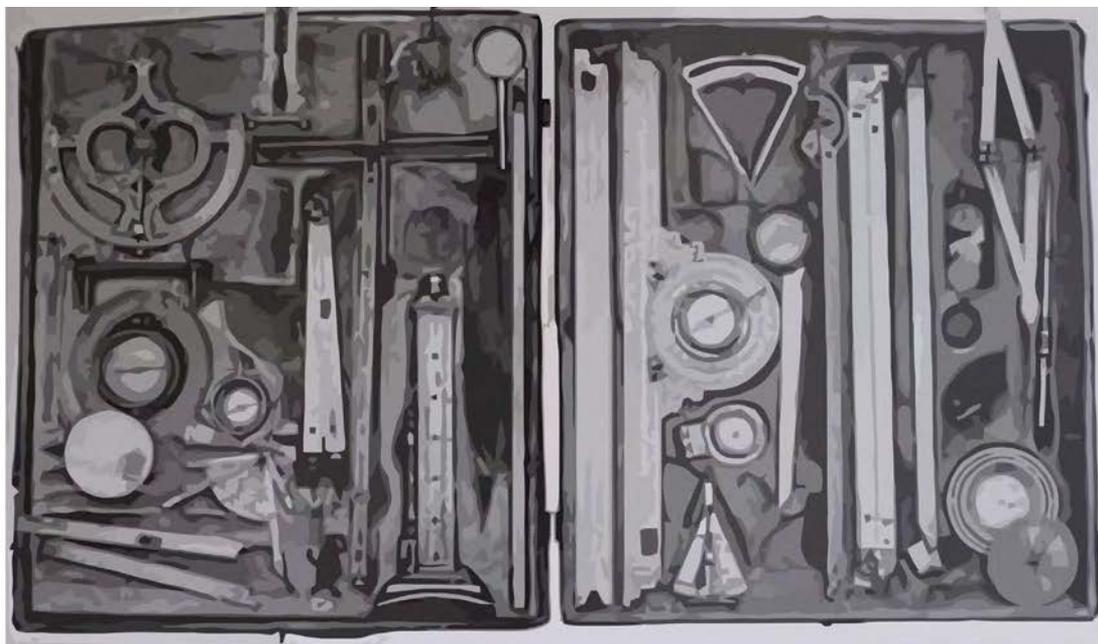


Figura 008. Maletín Alemán de 1899 con instrumentación para profesionales en materias técnicas e ingenieros militares. Museo di Storia Della Scienza, Florencia. Fuente: HAMBLY 1988.

Independientemente de todo esto, la aportación clave en el desarrollo posterior de la técnica de la fotogrametría no llegaría hasta que, tras la traducción a partir del siglo XVI de los “Elementos” de Euclides, se estableciera un tratamiento matemático en torno al estudio de las perspectivas y su problemática en la pintura.

Contribuciones por parte de Vignola<sup>14</sup> (1507-1573) concluyen, en el próximo siglo, con el trabajo de Gérard Desargues<sup>15</sup> (1591-1661), disponiendo los fundamentos elementales sobre la Geometría Proyectiva.

Ya en 1759, Johann Heinrich Lambert (1728-1777) publica *Die Freie Perspektive* (La Perspectiva Libre, en 1759) que evoca la posibilidad de obtener planos por medio de la perspectiva y dispone la metodología para alcanzar planos empleando las perspectivas por medio de una práctica que determina el punto de vista desde donde se ha ejecutado la perspectiva cónica.

Por otro lado, Jean-Victor Poncelet (1788-1867) estudió a fondo el trabajo de Monge y fue considerado como redescubridor de la geometría Proyectiva.

<sup>14</sup> Regola delli cinque ordini d'architettura, 1843.

<sup>15</sup> Brouillon Projet, 1639.

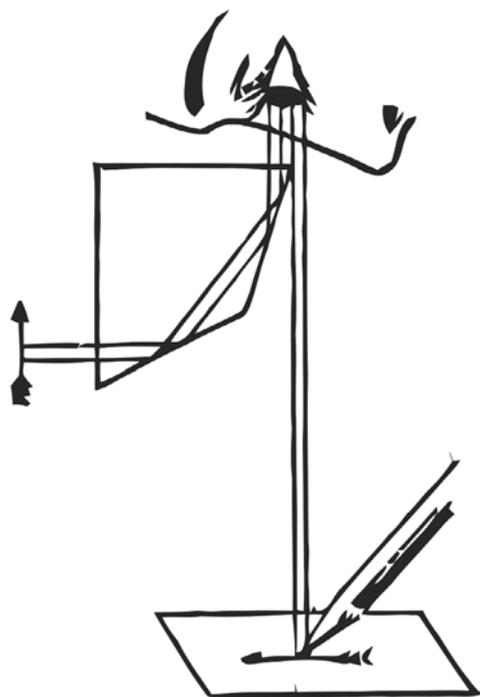


Figura 009. Esquema de uso de cámara lúcida de William Hyde. Fuente: Roland, 2009.

No fue hasta años después, en 1849, cuando Aimé Laussedat (1819-1907), considerado el padre de la fotogrametría, realizó una aplicación práctica para la producción de un mapa generado a través de fotografías con ayuda de una cámara clara, o cámara lúcida (figura 009) patentada por William Hyde Wollaston (1776-1828) en 1806. En el primer experimento reprodujo gráficamente la fachada del Hotel des Invalides de París.

Este (figura 010) y otros trabajos le llevaron a anunciar formalmente el empleo del fototeodolito y el método de las intersecciones para la topografía en foros como los de la Academia Francesa.

Figura 010 (derecha). Ilustración del Regola delli cinque ordini d'architettura de Vignola. Fuente: LUPA, Biblioteca Hertziana.

16 Recueil d'observations géodésiques, astronomiques et physiques, 1821.

Philippe de la Hire o Blaise Pascal (entre otros), ya en el siglo XIX tras un período en que parecen olvidarse las contribuciones de Desargues, y de la mano de Gaspard Monge (1746-1818), se origina, sobre todo popular por la creación de una escuela de geómetras en Francia (1794) de la mano de este último, un resurgimiento sistematizado y normalizado de la Geometría Descriptiva.

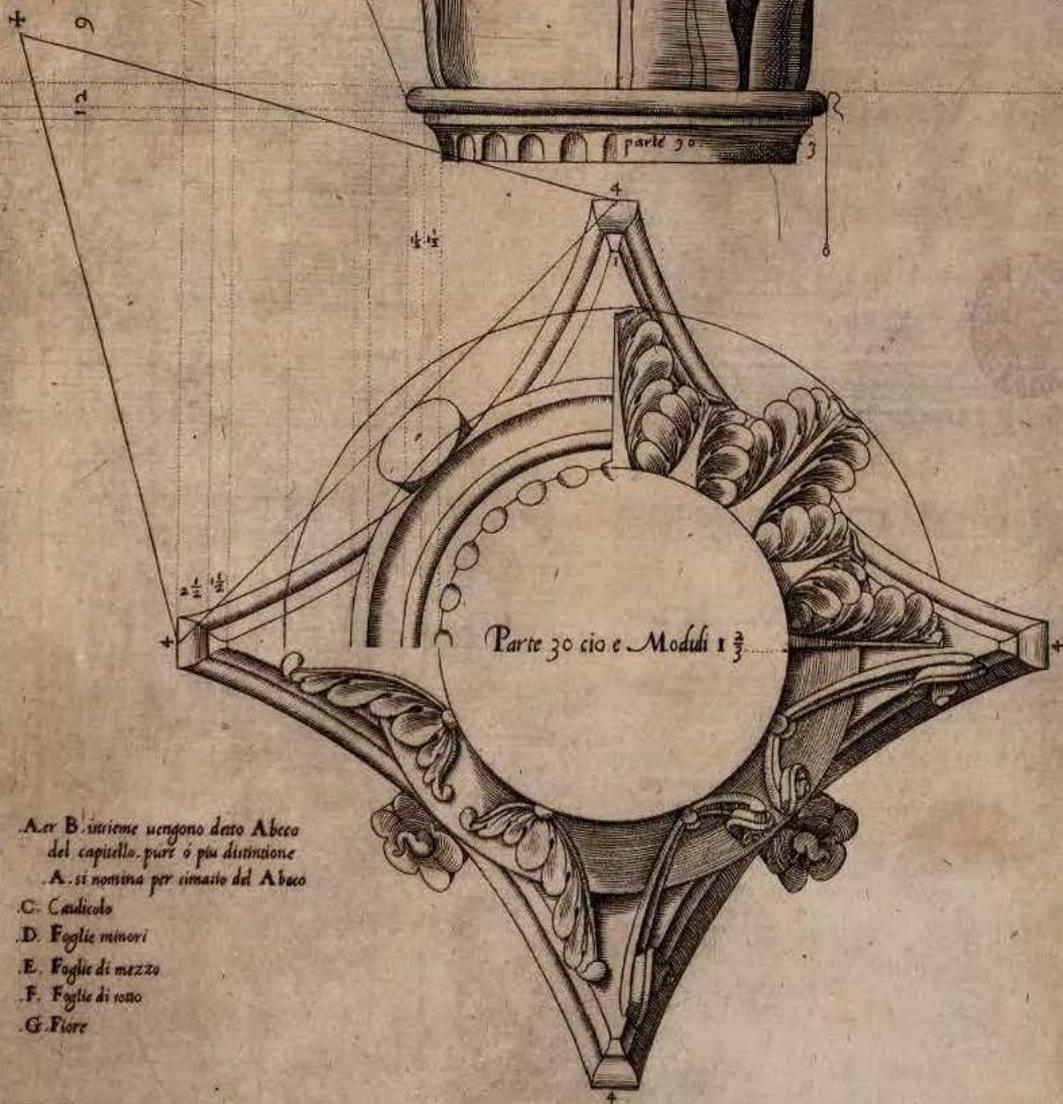
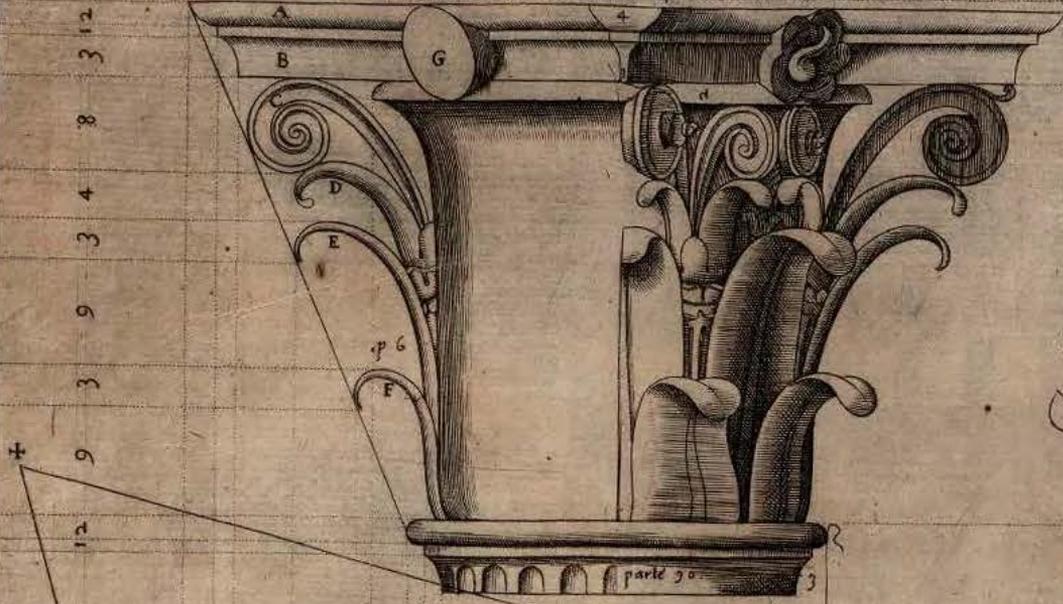
### 2.2.2. La fotogrametría

En 1840, un año después de la invención/divulgación de la fotografía por obra de Louis Daguerre (1787-1851), un geodesta de la Academia Francesa de la Ciencia, matemático y astrónomo llamado François Arago<sup>16</sup> (1786-1853), demostró cómo con el uso de fotografías era posible la producción de mapas topográficos.

Parte 72 cio e Moduli 4

p. 6

Moduli 2



- A. et B. insieme vengono detto Abaco del capitello. pure o più distinzione
- A. si nomina per cimatio del Abaco
- C. Caulicolo
- D. Foglie minori
- E. Foglie di mezzo
- F. Foglie di tono
- G. Fiore

Con la pianta et il profilo di questo capitello Corintio si può conoscere tutte le sue misure: dalla pianta si piglia le larghezze facendosi un quadro, che sia per linea diagonale moduli 4, nel quale si faccia un triangolo in una delle faccie nel modo si vede, et nel angolo segnato  $\nabla$  si forma la punta del compasso, et tirasi il cavo dell'abaco. Per il profilo si piglia l'altezza delle sue foglie, caulicoli et abaco: et il sporgimento delle foglie et caulicoli, si piglia per la linea che nasce dalla punta dell'abaco al rondino della colonna, come si può uedere sul disegno del profilo, iltratto con un poco di considerazione si può facilmente intendere.

En España fue rápidamente empleada la fotogrametría terrestre. Aunque Antonio Terrero (1799-1878), ya en 1863, desarrolló la base teórica sobre la que se apoya la fototopografía que no es empleada masivamente hasta la segunda década del siglo XX. Este inicio de aplicación, por otro lado intenso y dilatado, amplió la restitución del Mapa del Protectorado de Marruecos y el Mapa Topográfico de España.

Los primeros edificios históricos documentados por levantamientos fotogramétricos los realizó Albrecht Meydenbauer (1834-1921), considerado el creador del término de fotogrametría, en 1867. El rápido progreso y producción de la fotogrametría estereoscópica se hizo viable con la iniciativa de Franz Stolze (1836-1910) en 1892 de la marca flotante. Este despegue se logró, en parte, por la llegada de la aviación y el desarrollo de la fotogrametría aérea.

El salto informático trajo consigo dos consecuencias positivas en torno a la representación gráfica y las matemáticas:

- Se posibilitó que las matemáticas tuvieran un fuerte protagonismo tanto sobre la topografía clásica/tradicional como sobre la fotogrametría dando lugar a que la metodología analógica diera paso a la analítica.
- El perfeccionamiento de la tecnología CAD, fruto de la simbiosis entre el dibujo y las matemáticas, propició un impulso grandioso a los medios de expresión gráficos.

En las últimas décadas, y gracias al impulso de la fotografía digital, se ha intensificado ese grado de cooperación y contribución gráfico-matemático al que hacíamos referencia desde el comienzo de este capítulo, cuyo producto se manifiesta en la actual fotogrametría digital y visión artificial. La etapa en la que nos encontramos que se apoya en la fotografía convencional para, posteriormente, realizar un tratamiento sobre la imagen digital derivando en el uso de cámaras digitales aerotransportadas, multiespectrales, termográficas, de satélite e, incluso, combinadas con sensores de teledetección destinados a labores cartográficas.

Derivado de este estudio podríamos englobar las etapas de desarrollo de la fotogrametría de acuerdo con la figura 011.

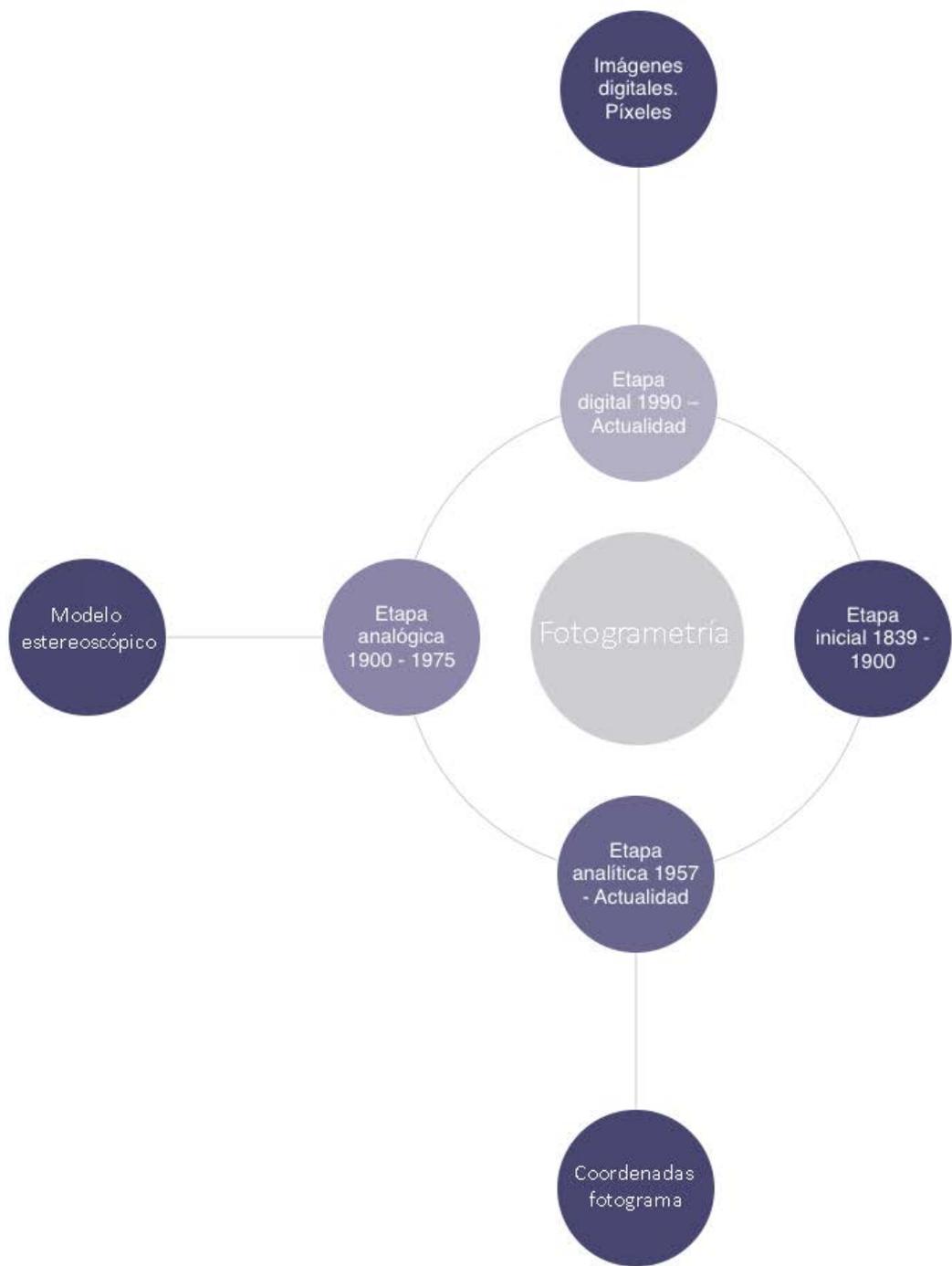


Figura 011. Desglose simplificado en el desarrollo de la fotogrametría. Fuente: Autor.

### 2.3. LEVANTAMIENTOS: MEDIOS Y PROCEDIMIENTOS

De acuerdo con lo descrito en el apartado anterior, y tal y como se define en la “Carta del relieve architettonico”, podemos considerar que un levantamiento arquitectónico, es:

“la primitiva forma de conocimiento y, por lo tanto, el conjunto de operaciones, medidas y análisis efectuadas para comprender y documentar el bien arquitectónico en su configuración general, en sus características métricas dimensionales, en su complejidad histórica, y en sus características estructurales y constructivas, además de en las formales y funcionales”<sup>17</sup>.

Con tal afirmación, extrapolable a otros campos del levantamiento, y entendiendo la complejidad de dicha actividad, podemos por ello deducir, que será necesario la intervención de un equipo multidisciplinar (figura 012 y 013) donde, por las actividades recogidas en el conjunto de trabajos y estudios de levantamiento, aparecen diferentes competencias profesionales.

El levantamiento consiste entonces en la representación gráfica de carácter técnico-científico de un objeto construido (o natural) y que, de acuerdo con la terminología industrial, podría llamarse proceso de ingeniería inversa. En definitiva, se trata de una transcripción a un formato gráfico escalado, de las características físicas y geométricas de un modelo.

La función multidisciplinar, como puede suponerse, trae consigo una serie de ventajas y desventajas. Una de las primeras, inmediata por otra parte, es que cada uno de los aspectos del levantamiento serán tratados por un experto en el campo y, alguna de las segundas, que los conflictos por diferentes puntos de vista estarán al orden del día o que la terminología empleada derivada de su instrucción de lenguaje no sea coincidente con aquellos con los que tendrán que trabajar. Así, y fruto de la realidad del trabajo conjunto de diferentes especialistas sobre un mismo

Figura 012 (superior) y figura 013 (inferior). Implicación real y efectiva en fase de excavación arqueológica de equipos multidisciplinarios. Bolvax, Cieza. Fuente: María José Morcillo.

<sup>17</sup> AA. VV. Carta del Rilievo Architettonico, 1999. “la primigenia forma di conoscenza e quindi il complesso di operazioni, di misurazioni e di analisi atto a comprendere e documentare il bene architettonico nella sua configurazione complessiva (anche riferita al contesto urbano e territoriale), nelle sue caratteristiche metriche dimensionali, nella sua complessità storica, nelle sue caratteristiche strutturali e costruttive, oltre che in quelle formali e funzionali.”



modelo, se hace necesario el subcapítulo 2.3. de esta tesis.

De otro lado, y necesario para comprender las posibilidades que brinda la fotogrametría a lo largo del procedimiento íntegro de conservación del patrimonio, aparece el término de restitución que, según la RAE significa:

“Restablecer o poner algo en el estado que antes tenía”.

Otros autores, como Ana Calvo (1997, p. 198) hace una definición más amplia y dice que se trata de una:

“Reintegración de partes perdidas o desmembradas. Sinónimo de reintegración.”

Definiendo reintegración (p. 188) como:

“Acción y efecto de reintegrar o restituir una parte perdida. Técnica de restauración que permite integrar estéticamente una obra completando sus pérdidas, ya sean de soporte de decoración o de policromía. Con independencia del criterio estético seleccionado, se limita exclusivamente a las lagunas existentes en la pieza, y se realiza con materiales inocuos, reversibles y reconocibles con respecto al original. (...) no siempre es necesaria para la conservación del objeto y, generalmente se trata de una intervención de tipo estético (...) El tema ha sido siempre polémico, existiendo diferentes modas, según las épocas, y se ha llegado, en algunos casos, a posturas extremas. Actualmente el criterio es bien claro, la conservación de los objetos es prioritaria, sin falsificaciones o reintegraciones que puedan llevar al engaño, con un respeto absoluto por la obra como documento histórico, y valorando adecuadamente su aspecto estético”.

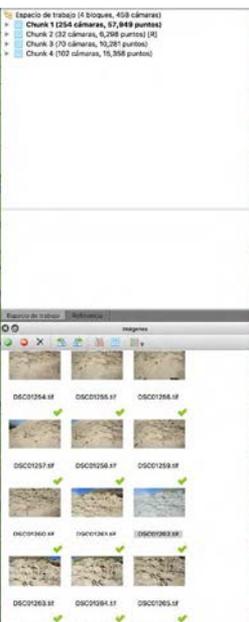
Ambas interpretaciones hacen referencia a una restitución de carácter físico, sin embargo, en nuestro caso, esta va a tener un carácter virtual donde los criterios de intervención, en la mayoría de los casos, son menos variados y no están regulados por la normativa del país. Será el usuario quien decida los métodos para una correcta realización y el fondo del estudio se centrará en las tipologías de restituciones tridimensionales realizables atendiendo a los variados modeladores geométricos que coexisten en la actualidad.

Lo que conocemos entonces como levantamiento no es más que una manera

de producir un modelo recurrido del objeto, capaz de contener suficiente información como para permitir transmitir conocimiento del mismo y, entre otras cosas, influir o encuadrar la toma de decisiones necesarias para su adecuada conservación.

La evolución acaecida en las tecnologías aplicadas a la documentación del patrimonio arquitectónico, social y cultural y el brote de nuevos formatos de representación de los modelos generados (figuras 014 y 015), obligan a considerar el

Figura 014 (superior) y figura 015 (inferior). Correspondencia de visuales entre fotografía de campo real en PhotoScan y modelo virtual de textura RGB. Bolvax, Cieza. Fuente: Autor.



rendimiento y las verdaderas posibilidades del uso de los resultados alcanzados con estos nuevos recursos en las tareas de conservación de ese patrimonio por parte de los profesionales involucrados y de si, realmente, se requieren tal cantidad de expertos, de diferentes ramas, en labores vinculadas a la conservación del patrimonio cultural (figura 016).

De forma tradicional, el modelo generado a través del uso de dibujos elaborados de acuerdo con las normas de la geometría descriptiva, realizados mediante proyecciones ortogonales en los que la dirección vertical es la única referencia sobre el plano. Este sistema, pese que a veces genera figuras del modelo muy distintas a las que proporciona la experiencia visual, permite obtener información métrica de forma inmediata. Una contrapartida es que, derivado del dibujo con líneas, obligamos a una simplificación del objeto basada en la representación de los elementos más significativos que, a pesar del natural subjetivismo, facilita la comprensión del modelo.

La calidad del producto final del trabajo, atendiendo a su expresión gráfica, es consecuencia directa de quién maneje los instrumentos, de quién realice el proceso de selección y de quién desarrolle la abstracción de pasar de la obra real a su representación en un dibujo. Esta actividad, hasta ahora de tipo intelectual, pues las máquinas no pueden realizar eficazmente la totalidad del proceso, deriva en la calidad final de un levantamiento. La práctica, habilidad y, sobre todo, capacidad de interpretación del operador que maneja el sistema de restitución son fundamentales.

El desarrollo de equipos avanzados, de enorme coste económico y personal cualificado para su uso, como los escáneres 3D, junto con la pretensión de facilitar los procesos haciéndolos menos dependientes de una ocupación a veces extenuante, ha llevado al perfeccionamiento de sistemas automatizados en los que el manipulador tiene menos trabajo, pero, a su vez, menos capacidad de decisión. Estas tecnologías modernas, disponibles o en fase de desarrollo, atienden a sistemas de captación de información indiscriminada y automatizada, en forma de coordenadas tridimensionales de puntos e información cromática relativa al punto del objeto, con la que se construye un modelo objeto del levantamiento.

Figura 016. Solape entre ortofotografía y representación CAD de la puerta principal de acceso a Casa de los Salazar Rosso. Desde 1992 Museo Arqueológico de Lorca (Murcia). Fuente: Representación lineal Jerónimo Granados, ortofotografía realizada por el autor.



MUSEO  
OLOGICO

DSC06694.tif

DSC06693.tif

DSC0

DSC06698.tif

DSC06699.tif

DSC06704.tif

DSC06678.tif

DSC06655.tif

DSC06659.tif

DSC06657.tif

DSC06659.tif

DSC06669.tif

DSC06652.tif

DSC06682.tif

DSC06685.tif

DSC06648.tif

DSC06688.tif

DSC06649.tif

DSC06687.tif

DSC06680.tif

DSC06681.tif

DSC06686.tif

DSC06639.tif

DSC06647.tif

DSC06640.tif

DSC06646.tif

DSC06635.tif

DSC06636.tif

DSC06663.tif

DSC06637.tif

DSC06664.tif

DSC06662.tif

DSC06668.tif

DSC06669.tif

DSC06673.tif

Disponer, por tanto, con una información planimétrica basada en el rigor y la precisión es necesaria para garantizar la validez de aquellos saberes que se aborden para el conocimiento del modelo objeto de la investigación. Por ello, y apoyándonos en lo definido al comienzo de este capítulo, aparece como forzoso el disponer de los medios técnicos más apropiados para obtener esta documentación en la que, además, se sugiere integrar técnicas tanto manuales como instrumentales.

Contar con una apropiada documentación planimétrica es una de las necesidades fundamentales tanto para la catalogación y protección del patrimonio como para su estudio y análisis.

Derivado de todo lo descrito, ceñir la actuación y contribución de la fotogrametría digital, dentro de un proyecto de actuación para la conservación, preservación o mantenimiento, sólo en la fase inicial de representación, es ya una equivocación y desacierto en el que estamos perdiendo capacidad de análisis sobre las necesidades de defensa y protección, de un correcto estudio histórico y formal, de la realidad física y las modificaciones del modelo (figura 017) en tiempo real a través de las fases de trabajo (sea estructural o tipológica), de las posibilidades difusoras, productivas, educacionales y/o de musealización.

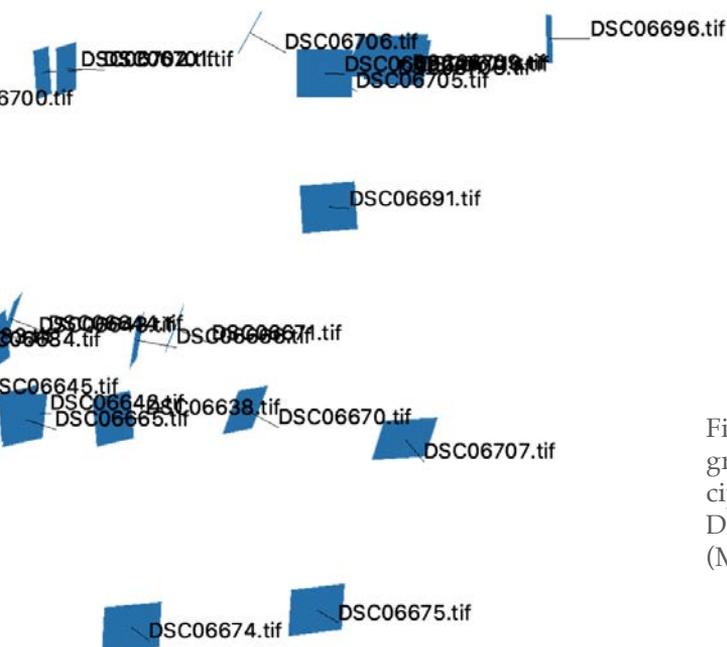


Figura 017. Perspectiva del trabajo fotogramétrico en PhotoScan de la puerta principal de acceso a Casa de los Salazar Rosso. Desde 1992 Museo Arqueológico de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Es evidente que todos estos aspectos especiales, junto con la experiencia de muchos trabajos, nos ha conducido a determinar que, la fotogrametría, es la técnica más idónea para acompañar, en la actividad cotidiana de la conservación del patrimonio, al proyecto y a los profesionales ligados a este en el desempeño de sus labores pudiendo sustentar esta afirmación normativa y experimentalmente.

#### 2.4. GLOSARIO

Dado que estamos ante un trabajo de investigación, de manifiesto carácter técnico, se concibe ineludible exponer los fundamentos conceptuales en torno a los que se asentará el resto de la tesis.

Conceptos como patrimonio, ortofoto y levantamiento, que serán mencionados innumerables veces; tanto dentro de su ámbito normativo y/o de aplicación o de los criterios sobre las que se constituyen discreciones de conservación, gestión y divulgación, requieren de un capítulo especial acorde a su importancia.

El problema de la terminología siempre ha existido entre profesionales del sector como arquitectos e ingenieros. Estos, en ocasiones específicas, se han visto afectado por trabajar con diferentes objetivos o propósitos dentro de un mismo campo de trabajo.

La evidente evolución de la tecnología aplicada, en el caso que nos atañe, a los levantamientos tridimensionales dentro del mundo del patrimonio, donde se ven implicadas diferentes figuras en torno a un mismo conjunto de técnicas, propicia el uso en campos diferentes y, a su vez, relacionados por un interés común, la conservación.

De esta forma, un campo como la topografía, primero reducido específicamente a la ingeniería, abre sus puertas a campos como el de la arquitectura, geología, el diseño por ordenador y la arqueología. Este hecho supone que cada uno de los profesionales ligados a estas ramas utilice una terminología más acorde a su campo, adecuando los conceptos a su léxico habitual.

Así, cuando se intenta hacer un estudio de una tecnología más allá de un

terreno concreto, aparece la problemática de unir conceptos con un término o nombre concreto.

El objetivo de este capítulo es, por lo tanto, ese: asociar conceptos con un nombre o término determinado e individualizado. Fruto del estudio terminológico aplicado en este campo concreto se establecen, con carácter conceptual, el que se ha considerado más adecuado, aprovechado y correcto.

Para la elección de los conceptos y sus relativos términos se ha establecido un camino concreto que ha permitido la selección de un conjunto específico. Todos ellos giran en torno al levantamiento tridimensional integrado y la restitución a partir de aquel. Por lo tanto, para la elección de los vocablos, se apuesta por aquellos que, a lo largo de la tesis, se utilizan para explicar la necesidad de la unificación de las técnicas de levantamiento para una correcta restitución.

De igual forma, por el carácter realmente práctico con el que se pretende acometer este capítulo, se ha considerado la agrupación de términos por familias, concretamente 5, que discurren consecutivamente y donde cada uno de ellos sintetiza a los considerados como interesantes, necesarios y recurrentes dentro de éste ámbito de estudio. Conseguimos así que una búsqueda específica desemboque en toda la terminología relacionada con la inicial.

Los grupos elegidos son:

- Levantamiento-Methodología. Este campo es algo más genérico. Dentro de él se han seleccionado sólo aquellos términos que forman parte, y tiene relación directa, con la tecnología fotogramétrica.
- Topografía. Esta rama es tan amplia que ha sido necesaria una selección de conceptos que tienen una relación directa con las herramientas avanzadas referidas a lo largo de la tesis.
- Imagen. Asumiendo la importancia del cromatismo y las imágenes asociadas a él empleadas durante la restitución, hace necesario definir aquellos criterios que forman parte de este.
- Fotogrametría. Aquí quedan recogidos aquellos conceptos usados en el habla coloquial mientras se usa esta técnica. Se hace hincapié en aquellos ligados al image-based modeling and rendering (IBMR).

- Edición 3D. Como de aquí en adelante se comentará, y siendo tan importante el levantamiento en sí como el estudio que se logrará realizar del elemento restituido, se hace necesario conocer aquellos vocablos que permitan un correcto entendimiento de los frutos obtenidos con esta herramienta.

Todos los conceptos reseñados van provistos de una definición fundada en la 23ª edición de la RAE, publicada en 2014 (vigente a marzo de 2017), y afirmada por las referencias bibliográficas a las que se hace alusión en cada caso. Además, y para ayudar en su inventario, se proporcionan conceptos afines al término estudiado:

Levantamiento / Survey	Conceptos relacionados:
Referencias: Guidi, G.; Russo, M.; Anghelddu, D., 2013 Meschini, A., Petrucci, E., Rossi, D., & Sicuranza, F., 2014 Gaiani, M., Apollonio, F. I., Clini, P., & Quattrini, R., 2015	Adquisición de datos, Toma de datos, 3D data acquisition, 3D capturing techniques, planimetría, altimetría.
Definición: Es utilizado en el ámbito topográfico y se refiere a las labores de definición de los linderos, la superficie y la ubicación de un terreno, mediante una serie de mediciones lineales y angulares.	
Medición / Measurement	Conceptos relacionados:
Referencias: Ahmadabadian, A. H., Robson, S., Boehm, J., Shortis, M., Wenzel, K., y Fritsch, D., 2013 Biosca Taronger, J.M., Navarro Tarín, S. y Lerma García, J.L., 2007 Guidi, G. y Remondino, F., 2012	Evaluación, Documentación Métrica, Photogrammetric measurement, cálculo, medida, Sistema de medición.
Definición: Comparar una cantidad con su respectiva unidad con el fin de averiguar cuántas veces la segunda está contenida en la primera.	

Exactitud / Accuracy	Conceptos relacionados:
Referencias: Ahmadabadian, A. H., Robson, S., Boehm, J., Shortis, M., Wenzel, K., y Fritsch, D., 2013 Buill, F., Nuñez, M.A., y Rodríguez, J.J., 2007 Sandoval, V., 2004	Photogrammetric measurement, precisión, fidelidad, rigor métrico.
Definición: Es el grado de concordancia entre el valor de la magnitud medida y un valor de la cantidad real de un mesurando.	
Pre-procesamiento / Pre-processing	Conceptos relacionados:
Referencias: Boquera, J. H., Esteve, P. N., Barros, H., Flores, Á. M., & Ríos, J. L. D., 2011 Fantini, F., 2012	Representación, modelado, modelo, model, 3d representation.
Definición: Contempla las fases de ajuste de color, contraste y luminosidad de capturas, la reducción de ruido, el pigmentado de las nubes de puntos y el registro de posiciones de las tomas de datos.	
Post-producción / Post-processing	Conceptos relacionados:
Referencias: Fantini, F., 2012 Boquera, J. H., Esteve, P. N., Barros, H., Flores, Á. M., & Ríos, J. L. D., 2011 Guidi, G., & Remondino, F., 2012	Retopology, remeshing, optimización.
Definición: Proceso realizado sobre el modelo digital 3D obtenido de las fases de registro, triangulación y publicación para adecuarlo a la aplicación final para la que se requiere.	

Error topológico / topological error	Conceptos relacionados:
Referencias: Buill, Felipe; Núñez, M <sup>a</sup> . A.; Rodríguez, J., 2003 Biosca T., Navarro Tarín, S. y Lerma García, J.L., 2007	Topología equívoca, espacio topológico erróneo.
Definición: Trata las conexiones anormales que, esporádicamente y considerándolas como anormales, crean imperfecciones en los polígonos concebidos en la transición nube de puntos-malla poligonal en forma de triángulos que, en cantidad igual o mayor de dos, comparten un mismo lado.	
Precisión / Precision	Conceptos relacionados:
Referencias: Referencias: Biosca Taronger, J.M., Navarro Tarín, S. y Lerma García, J.L., 2007 Guidi, G. y Remondino, F., 2012 Sandoval, V., 2004	Incertidumbre, desviación estándar, uncertainty, exactitud, rigor, concreción.
Definición: Hace referencia al nivel de correspondencia entre las magnitudes o valores fruto de una medición obtenidas por medio de la réplica de actuación sobre el mismo cuerpo bajo condiciones específicas representadas en una determinada magnitud.	
Distorsión / Distortion	Conceptos relacionados:
Referencias: Buill, F., Nuñez, M.A., y Rodríguez, J.J., 2007 de Rivera, J. M., 2007	Alteración visual, deformation.
Definición: La distorsión es la deformidad o anomalía producida en una señal tras su paso por un sistema.	

Datos brutos / Raw data	Conceptos relacionados:
Referencias: Guidi, G., & Russo, M., 2011 Charquero, A. M <sup>a</sup> .; López, J. A., 2012	Barrido, datos groseros, formato bruto, formato crudo.
Definición: Datos obtenidos por equipos ópticos y óptico-métricos en formato crudo y, por tanto, considerados como previos a la realización de cualquier transformación o intervención por parte del operador.	
Recubrimiento / Covering, Correspondences across	Conceptos relacionados:
Referencias: Remondino, F., Spera, M. G., Nocerino, E., Menna, F., y Nex, F., 2014 Buill, F.; Núñez, M <sup>a</sup> . A.; Rodríguez, J., 2003	Image overlapping, Superficie de solape, área de solape, superposición de tomas.
Definición: Intercalado entre imágenes tomadas de forma consecutiva, o no, captadas con la intención de obtener puntos homólogos para permitir el Image-based modeling.	
Diana / Target	Conceptos relacionados:
Referencias: Guidi, G., & Remondino, F., 2012 García, I.; Fernández, M.; Mesanza, A., 2011 Cueli López, J., 2011 Mañana, P.; Rodríguez, A.; Blanco, R., 2008	Diana de control, puntos de control, puntos de apoyo, control point, dianas codificadas, target coordinate system.
Definición: Elemento o componente cuyo emplazamiento fijo y de clara localización es registrado en cada captura de imágenes o barrido y que desempeña la función de referencia para el combinado general de tomas.	

Terrestre / Terrestrial	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Charquero, A. M<sup>a</sup>.; López, J. A., 2012</p> <p>Marambio Castillo, A. E., Pucci, B., Jungner, A., Núñez Andrés, M. A., &amp; Buill Pozuelo, F., 2009; Wenzel, K., Rothermel, M., Fritsch, D., &amp; Haala, N., 2013</p>	<p>Físico, geológico, terrenal, geological.</p>
<p>Definición:</p> <p>Se utiliza para representar / referirse a actuaciones que se realizan, usan, suceden o funcionan en la superficie o corteza terrestre.</p>	
UAV / UAV	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Guidi, G., &amp; Remondino, F., 2012</p> <p>Manferdini, A. M., &amp; Remondino, F., 2012</p>	<p>Drone, vehículo aéreo, aerial vehicle, vehículo aéreo no tripulado.</p>
<p>Definición:</p> <p>Se utiliza para definir vehículos aéreos (de ala fija o móvil, cometas o globos), no tripulados, controlados con tecnología inalámbrica desde una posición remota o que vuelan autónomamente utilizando planes de vuelo pre-programados. Acrónimo de Unmanned Aerial Vehicles.</p>	
Auto-calibración / Self-calibration	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Cueli López, J., 2011</p> <p>Cuadrado Mendez, O., Arias Perez, B., González-Aguilera, D., Gómez-Lahoz, J., &amp; Quintanilla, P., 2014</p>	<p>Sistema automático de calibrado, autocalibration, automatic camera calibration.</p>
<p>Definición:</p> <p>Proceso por el cual algunos programas informáticos determinan los parámetros de calibrado de la cámara mecánicamente y de forma autónoma a partir de fotografías superpuestas durante la toma.</p>	

Method Bundle Adjustment / Method Bundle Adjustment	Conceptos relacionados:
Referencias: Guidi, G., & Remondino, F., 2012 Jeong, Y., Nister, D., Steedly, D., Szeliski, R., & Kweon, I. S., 2012	Ajuste de paquetes, self-calibrating bundle adjustment, puntos de unión, Method Self-calibrating bundle adjustment.
Definición: Suministra especificaciones simultáneas de la totalidad de los parámetros del sistema junto con las consideraciones de la precisión y la integridad y fiabilidad de las incógnitas.	
Aéreo / Aerial	Conceptos relacionados:
Referencias: Lerma, J. L., Navarro, S., Cabrelles, M., y Villaverde, V., 2010 Cueli López, J., 2011 Guidi, G., & Remondino, F., 2012	Justo, orientation, patrón de calibración, planificación, preparativo, autocalibración, calibrated, corrección, radiometric calibration.
Definición: Consiste en la determinación de los parámetros característicos intrínsecos y de funcionamiento de sistemas activos y/o pasivos que posibiliten el control y conocimiento del comportamiento general del equipo/instrumento, así como los errores introducidos durante la captación de los datos.	
Digitalización / Digitizing	Conceptos relacionados:
Referencias: Torres, J. C., Cano, P., Melero, J., España, M., y Moreno, J., 2010 García, J. L. P., Calvache, A. T. M., Escarcena, F. J. C., y Arenas, A. L., 2011	Representación virtual, reproducción virtual, Digitization.
Definición: Define la concepción de un modelo tridimensional e informático de un objeto.	

Modelado inverso / Reverse modelling	Conceptos relacionados:
Referencias: Guidi, G., & Russo, M., 2011 Dore, C., & Murphy, M., 2012	Reverse engineering process.
Definición: SEstablece un sistema/metodología de trabajo contrario al considerado como canónico donde el objeto físico es el dato de bosquejo o el modelo digital compone el producto final del procedimiento de modelización.	
Anastilosis / Anastylisis	Conceptos relacionados:
Referencias: Joiko, G., 1986 Fabregat Bolufer, L., Tejerina Antón, D., Molina Vidal, J., & Frías Castillejo, C., 2012 Martínez, J. F., 2014	Reintegración, recomposición, reconstrucción.
Definición: Término arqueológico que designa la técnica de reconstrucción de un ente atendiendo al estudio metódico del ajuste de los diferentes elementos que lo componen.	
Optimización / Optimization	Conceptos relacionados:
Referencias: Boquera, J. H., Esteve, P. N., Barros, H., Flores, Á. M., & Ríos, J. L. D., 2011 Fantini, F., 2012 Boquera, J. H., Esteve, P. N., Barros, H., Flores, Á. M., & Ríos, J. L. D., 2011	Reducción del modelo, reducción poligonal, decimación, low-poly, high-poly.
Definición: Momento en el cual, y siempre con carácter aplicativo, se reduce drásticamente el tamaño de la malla poligonal, por medio de la decimación inteligente de la curvatura del modelo. De forma útil, conseguiremos un modelo Low-poly partiendo de un High-poly empleando mapa de normales y de desplazamiento a nivel conveniente para conservar un nivel de detalle alto.	

Nivel de detalle / Levels of detail (LOD)	Conceptos relacionados:
Referencias: Boquera, J. H., Esteve, P. N., Barros, H., Flores, Á. M., & Ríos, J. L. D., 2011 Zaragoza, I. M. E., Caroti, G., & Piemonte, A., 2015	Degree of detail.
Definición: Derivada del concepto de optimización del modelo. Consiste en la aplicación práctica para la creación de elementos/modelos de diferente grado de resolución geométrica por, posteriormente, poder escoger o elegir aquel que nos sea de interés según el objetivo para el que ha sido generado.	
Tridimensional / 3D Three-dimensional	Conceptos relacionados:
Referencias: Mañana, P.; Rodríguez, A.; Blanco, R., 2008 Buill, F., Nuñez, M.A., y Rodríguez, J.J., 2007	3d model, 3 dimensiones, modelo tridimensional.
Definición: Hace alusión a un objeto definido en tres dimensiones.	
Fotorrealista / Photo-realistic	Conceptos relacionados:
Referencias: Lerma, J. L., Navarro, S., Cabrelles, M., y Villa-verde, V., 2010 Zaragoza, I. M. E., Caroti, G., & Piemonte, A., 2015	Fotorrealístico, apariencia real, modelo fotorrealístico 3d, modelo real.
Definición: Relativo a modelos digitales que, partiendo de instrumentos que permiten la captación e información geométrica tridimensional, integran la textura obtenida por medio de fotografías.	

Clásico / Classical	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Buill, F., Nuñez, M.A., y Rodríguez, J.J., 2007</p> <p>Buill, Felipe; Núñez, M<sup>a</sup>. A.; Rodríguez, J., 2003</p> <p>Charquero, A. M<sup>a</sup>.; López, J. A., 2012</p>	<p>Tradicional, normal, habitual, histórico, rutinario, antiguo.</p>
<p>Definición:</p> <p>Designa sustantivos que se acomodan a los sistemas tradicionales o a las reglas de costumbre y uso generales y/o a lo relativo al momento histórico de una ciencia, modelo o teoría para que sirva de base a desarrollo posterior.</p>	
Virtual / Virtual	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Buill, F., Nuñez, M.A., y Rodríguez, J.J., 2007</p> <p>Fantini, F., 2012</p>	<p>Representación, modelado, modelo, model, 3d representation.</p>
<p>Definición:</p> <p>Se refiere a modelos o conceptos simulados, generados, auxiliados o asistidos por ordenador.</p>	
Fotogrametría / Photogrammetry	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Wenzel, K., Rothermel, M., Fritsch, D., &amp; Hala, N., 2013</p> <p>Cannarozzo, R., Cucchiari, L., &amp; Meschieri, W., 2012</p> <p>Buill, F.; Núñez, M<sup>a</sup>. A.; Rodríguez, J., 2003</p>	<p>Fotograma, trazado, solape fotográfico, topografía, fotogrametría terrestre, fotogrametría aérea.</p>
<p>Definición:</p> <p>Es la ciencia que permite, mediante la conversión de información bidimensional en medidas tridimensionales, convertir una serie de fotografías en un modelo en tres dimensiones con validez métrica.</p>	

Virtual / Virtual	Conceptos relacionados:
Referencias: Remondino, F., Spera, M. G., Nocerino, E., Menna, F., y Nex, F., 2014 Buill, F., Nuñez, M.A., y Rodríguez, J.J., 2007	Representación, modelado, modelo, model, 3d representation.
Definición: Se refiere a modelos o conceptos simulados, generados, auxiliados o asistidos por ordenador.	
IBM / Image-Based Modelling	Conceptos relacionados:
Referencias: Alsadik, B., Gerke, M., & Vosselman, G., 2015 Koska, B., y Kremen, T., 2013	Image-based 3D reconstruction, fotogrametría Digital Automatizada, image-based technique, image survey, structure-from-motion software.
Definición: Método que comprende objetos que van desde dimensiones comprendidas entre decímetros hasta 200 metros. Aprovechan la orientación espacial de las imágenes y, a través de varias de estas, generan nubes de puntos, la posibilidad de medir sobre los objetos creados virtualmente o modelo con textura real.	
RBM / Range-Based Modelling	Conceptos relacionados:
Referencias: Andries, P., Fasseur, C., Debie, J., Goossens, R., y Devriendt, D., 2005 Mañana, P.; Rodríguez, A.; Blanco, R., 2008 Buill, F.; Núñez, M <sup>a</sup> . A.; Rodríguez, J., 2003	Barrido de elementos, barrido escáner láser, Láser escáner, 3D laser scanner, sensores de barrido láser, sensor láser, fotogrametría de escáner láser.
Definición: Método que apoya su metodología en un instrumento que, por medio de rayos láser, en forma digital, obtiene el aspecto externo de los objetos sin que, a priori, se haya tenido que establecer contacto físico con estos.	

Fotograma / Photographs	Conceptos relacionados:
Referencias: Zaragoza, I. M. E., Caroti, G., & Piemonte, A., 2015 Verdiani, G., 2003	Imagen métrica, fotografía.
Definición: Reproducción fotográfica analógica que, en formato métrico, se denominan fotogramas.	
Ortofoto / Orthophoto	Conceptos relacionados:
Referencias: Buill, F., y Núñez, M. A. i RODRÍGUEZ, JJ., 2007 Wenzel, K., Rothermel, M., Fritsch, D., & Hala, N., 2013	Fotoplano, ortoimagen, ortofotografía, orthographic images, ortoproyección.
Definición: Representación gráfica en la que toda la información contenida está representada sin deformaciones y con validez métrica.	
Parámetros de orientación / Additional Parameters	Conceptos relacionados:
Referencias: Fanini, B., Calori, L., Lucci Baldassari, G., & Pescarin, S., 2011 Guidi, G., & Remondino, F., 2012	Interior orientation parameters, Exterior orientation Parameters, principal point offset.
Definición: Comprende los parámetros internos y externos de la cámara. En los internos consideramos la constante de la cámara, o longitud focal, la posición del punto principal en coordenadas (x, y) y otros parámetros adicionales que colaboran en el modelado de errores sistemáticos sobre todo producidos por la distorsión de la lente. En los externos estudiamos las coordenadas espaciales en los ejes (x, y, z) y en las tres rotaciones del centro prospectivo de la cámara considerada en el espacio.	

Orientación / Orientation	Conceptos relacionados:
Referencias: Wenzel, K., Rothermel, M., Fritsch, D., & Hala, N., 2013 Guidi, G., & Remondino, F., 2012	Camera resectioning, posición, colocación.
Definición: Radica en localizar los parámetros de orientación externa de cada una de las imágenes que se están utilizando. Esta orientación se basa en 3 posiciones y 3 rotaciones.	
Puntos homólogos / Homologous point	Conceptos relacionados:
Referencias: Cueli López, J., 2011 Lerma, J. L., Navarro, S., Cabrelles, M., y Villaverde, V., 2010	Puntos equivalentes, semejanza triangulación.
Definición: Puntos semejantes evaluados y considerados sobre las imágenes de los que se deriva una ecuación de colinealidad que faculta la determinación de ecuaciones, calibración de la cámara y orientación de la fotografía.	
Rectificación / Rectification	Conceptos relacionados:
Referencias: Buill, F., y Núñez, M. A. i RODRÍGUEZ, JJ., 2007 Apollonio, F. I., Ballabeni, A., Gaiani, M., y Remondino, F., 2014	Enderezado fotográfico, representación corregida.
Definición: Dada una captura fotográfica en la que las tomas presentan un plano inclinado respecto a la vertical u horizontal, la rectificación estriba en la corrección de las imágenes con respecto a los planos de referencia (vertical u horizontal) resultando una verdadera forma y dimensión de los elementos contenidos en el plano de modelo.	

Cámara / Camera	Conceptos relacionados:
Referencias: Buill, F., y Núñez, M. A. i RODRÍGUEZ, JJ., 2007 Guidi, G., & Remondino, F., 2012	Instrumento fotográfico, equipo fotográfico.
Definición: Dispositivo que permite hacer fotografías y que cuenta con un objetivo como medio óptico y un obturador como mecánico.	
Distancia focal / Focal length	Conceptos relacionados:
Referencias: Guidi, G. y Remondino, F., 2012 Wenzel, K., Rothermel, M., Fritsch, D., & Hala, N., 2013	Parámetro fotográfico.
Definición: Distancia expresada en mm entre el centro óptico de la lente y el plano focal.	
Colinealidad / Collinearity	Conceptos relacionados:
Referencias: Fanini, B., Calori, L., Lucci Baldassari, G., & Pescarin, S., 2011 Guidi, G., & Remondino, F., 2012	Parámetro fotográfico.
Definición: El principio de colinealidad fija que, dado el centro de proyección de la cámara fotográfica, un punto P en el espacio y un punto P' sobre la imagen, estos deben yacer sobre una línea recta.	

Estereoscópico / Stereoscopic	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Remondino, F., Spera, M. G., Nocerino, E., Menna, F., y Nex, F., 2014</p> <p>Buill, F., y Núñez, M. A. i RODRÍGUEZ, JJ., 2007</p>	<p>Representación, modelado, modelo, model, 3d representation.</p>
<p>Definición:</p> <p>Se refiere a cualquier técnica apta para recolectar documentación visual tridimensional y/o para cencebir la sensación de profundidad mediante una figura tridimensional o estereográfica.</p>	
Escáner láser 3D / 3D laser scanner	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>García, I.; Fernández, M.; Mesanza, A., 2011</p> <p>Mañana, P.; Rodríguez, A.; Blanco, R., 2008</p>	<p>Láser escáner, laser scanning, laser scan, laserscan, equipo de medición láser.</p>
<p>Definición:</p> <p>Dispositivo que, generalmente acoplado sobre un trípode o plataforma nivelante, sondea por medio de un haz láser los elementos del entrono cercano de forma que, a cada punto derivado se le asignan coordenadas reales del sistema de representación espacial.</p>	
Nube de puntos / Point clouds	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Buill, F.; Núñez, M<sup>a</sup>. A.; Rodríguez, J., 2003</p> <p>Verdiani, G., 2003</p> <p>Fantini, F., 2012</p>	<p>Nube de puntos a escala RGB, modelo discreto.</p>
<p>Definición:</p> <p>Conjunto de coordenadas tridimensionales que reflejan la superficie externa de un objeto.</p>	

<b>Alineación / Alignment</b>	<b>Conceptos relacionados:</b>
Referencias: Dore, C., & Murphy, M., 2012 Logothetis, S., Delinasiou, A., & Stylianidis, E., 2015	Point cloud alignment.
<b>Definición:</b> Pretende la localización y búsqueda de relación espacial entre una nube de puntos relativa a un objeto percibido desde diferentes puntos de vista con el propósito de representarlo sobre la base de una vista de referencia.	
<b>Topografía / Topography</b>	<b>Conceptos relacionados:</b>
Referencias: Dore, C., & Murphy, M., 2012 Buill, F.; Núñez, M <sup>a</sup> . A.; Rodríguez, J., 2003	Topográfico, terreno, representación, estudio orográfico.
<b>Definición:</b> Ciencia que estudia la correcta representación gráfica, sobre un plano y una escala determinada, de una porción de la superficie terrestre con todos sus detalles naturales y artificiales por medio de métodos, procesos e instrumentos que permiten realizar mediciones.	
<b>SIG / GIS</b>	<b>Conceptos relacionados:</b>
Referencias: Dore, C., & Murphy, M., 2012 Logothetis, S., Delinasiou, A., & Stylianidis, E., 2015	Geographic information system, planificación geográfica, sistema de información arquitectónica (SIA).
<b>Definición:</b> Acronimo de Sistema de información geográfica empleado para almacenar, visualizar y examinar los datos geográficos. Las características espaciales se guardan como geometría y se observan con proyecciones de mapas y coordenadas que permiten el análisis espacial de los datos.	

Georreferenciación / Geo-referencing	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Guidi, G., &amp; Remondino, F., 2012</p> <p>Marambio Castillo, A. E., Pucci, B., Jungner, A., Núñez Andrés, M. A., y Buill Pozuelo, F., 2009</p>	<p>Georeferenced position, GPS, georeferenced point cloud, georeferenced mesh, sistema de posicionamiento global.</p>
<p>Definición:</p> <p>Hace referencia a una palabra de nueva creación que atiende al posicionamiento con el que se define la situación de un objeto espacial (simbolizado mediante un punto, área, vector o volumen) en un sistema de coordenadas y datum definido.</p>	
Estación total / Total station	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Charquero, A. M<sup>a</sup>.; López, J. A., 2012</p>	<p>Taquímetro completo, teodolito, instrumentación topográfica.</p>
<p>Definición:</p> <p>Instrumento topográfico universal conformado por un teodolito para la medición de ángulos, un IEMD para la determinación de distancias y un microprocesador en una sola unidad. Permiten determinar distancias y ángulos horizontales y verticales con las que, posteriormente, conocer elevaciones y coordenadas.</p>	
Píxel / Píxel	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Guidi, G., &amp; Remondino, F., 2012</p>	<p>Picture element, píxel de textura, elemento unitario de textura.</p>
<p>Definición:</p> <p>Se refiere al fragmento homogéneo más pequeño de la imagen en el cual se subdivide una imagen digital y que presenta estructura en forma rectangular.</p>	

Color / Color	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., Gherardi, R., Fusiello, A., y Scopigno, R., 2013</p> <p>Boquera, J. H., Esteve, P. N., Barros, H., Flores, Á. M., &amp; Ríos, J. L. D., 2011</p>	<p>RGB, información cromática, información de color.</p>
<p>Definición:</p> <p>Se define como el aspecto cromático que presentan los objetos inspeccionados a luz natural.</p>	
Visualización / Visualization	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Dore, C., &amp; Murphy, M., 2012</p> <p>Diez Castillo, A., García Puchol, O., Cortell Nicolau, A., y Escribá Ruiz, P., 2016</p>	<p>Observación, composición, generación.</p>
<p>Definición:</p> <p>Concepción de una imagen real o mental de algo abstracto o invisible.</p>	
Edición 3D / 3D editing	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Apollonio, F. I., Ballabeni, A., Gaiani, M., y Remondino, F., 2014</p>	<p>Corrección de bordes, redundant face, unstable face, mesh editing.</p>
<p>Definición:</p> <p>Actuaciones que llevan ligadas la eliminación de contradicciones y el enriquecimiento de la calidad de una superficie poligonal tratando de conservar la geometría de la forma original.</p>	

<b>Renderización / Rendering</b>	<b>Conceptos relacionados:</b>
Referencias: Diez Castillo, A., García Puchol, O., Cortell Nicolau, A., y Escribá Ruiz, P., 2016 Guidi, G., & Russo, M., 2011	Imagen de renderizado, representación virtual hiperrealística, restitución visual.
<b>Definición:</b> Reposición visual de un modelo.	
<b>Modelado / Modelling</b>	<b>Conceptos relacionados:</b>
Referencias: Boquera, J. H., Esteve, P. N., Barros, H., Flores, Á. M., & Ríos, J. L. D., 2011 Guidi, G.; Russo, M.; Anghelddu, D., 2013 Fantini, F., 2012	Representación, modelo, model, 3d representation, modelo digital.
<b>Definición:</b> Radica en la producción y/o modificación de modelos en tres dimensiones.	
<b>Modelo digital / Digital model</b>	<b>Conceptos relacionados:</b>
Referencias: Fantini, F., 2012 Andries, P., Fasseur, C., Debie, J., Goossens, R., y Devriendt, D., 2005	Representación, modelado, modelo, model, 3d representation.
<b>Definición:</b> Un modelo tridimensional digital que puede ser manipulado, editado, utilizado y medido en formato de visualización estático o dinámico que puede visualizarse por medio de un ordenador.	

Modelización / Modelling	Conceptos relacionados:
Referencias: Logothetis, S., Delinasiou, A., & Stylianidis, E., 2015 Dore, C., & Murphy, M., 2012	Automated 3D modelling procedures, modelado fotorrealístico.
Definición: Formulación conceptual del objeto a levantar.	
Reconstrucción virtual / Virtual reconstruction	Conceptos relacionados:
Referencias: Remondino, F., Spera, M. G., Nocerino, E., Menna, F., y Nex, F., 2014 Fantini, F., 2012	Reconstrucción digital, reconstrucciones 3D, image based surface reconstruction, photogrammetric surface reconstruction.
Definición: Se refiere a la reconstrucción de escenarios, espacios u objetos en tres dimensiones en una computadora.	
Malla / Mesh	Conceptos relacionados:
Referencias: Andries, P., Fasseur, C., Debie, J., Goossens, R., y Devriendt, D., 2005 Zaragoza, I. M. E., Caroti, G., & Piemonte, A., 2015	Modelo poligonal sin estructura, 3D triangular mesh, macla poligonal, mesh Surface, malla de polígonos.
Definición: Modelo resultante de la conversión de nube de puntos en un polígono. Restitución de la geometría por triángulos.	

Decimación / Decimated	Conceptos relacionados:
Referencias: Guidi, G., & Remondino, F., 2012 Andries, P., Fasseur, C., Debie, J., Goossens, R., y Devriendt, D., 2005	Reducción de polígonos, point reduction, reduced model size, reducción del número de triángulos.
Definición: Disminución en la complejidad del modelo eliminando vértices y manteniendo, proporcionalmente, la precisión inicial. La resultante nos aproxima a un modelo con un menor número de caras, vértices y bordes.	
Relleno de huecos / Fill holes	Conceptos relacionados:
Referencias: Buill, F., & Núñez, M. A. i Rodríguez, JJ, 2007	Reducción/eliminación de zonas ocultas, zonas oscuras, eliminación de sombras, relleno de agujeros.
Definición: Se refiere a la parte de superficie poligonal inexistente ocasionada por la presencia de sombras en el momento de la adquisición, por la baja densidad de la nube de puntos, por la triangulación de la malla incompleta o por las características de reflexión del material a estudiar.	
Ruido / Noise	Conceptos relacionados:
Referencias: Wenzel, K., Rothermel, M., Fritsch, D., & Hala, N., 2013 Guidi, G., & Russo, M., 2011	Puntos erróneos, mancha cromática.
Definición: Puntos erróneos que aparecen durante la adquisición de datos gráficos por un material o geometría concreta de un objeto y que deriva en una alineación incorrecta entre diferentes nubes de puntos.	

Textura / Texture	Conceptos relacionados:
Referencias: Cueli López, J., 2011 Manferdini, A. M., & Remondino, F., 2012 Fantini, F., 2012	Textura de color, calidad de textura, representación de textura.
Definición: Generalmente se trata de una imagen digital que representa la variación cromática de una superficie.	
Espacio UV / Space UV	Conceptos relacionados:
Referencias: Fantini, F., 2012 Guidi, G., & Russo, M., 2011	Sistema de referenciado.
Definición: Se refiere a la adaptación de una proyección a una maya donde, el vértice de cada triángulo se combina con las coordenadas adicionales U y V, donde se determina la posición en el espacio de la textura. En este espacio de plano cartesiano, UV, la U hace referencia a la coordenada horizontal y la V a la coordenada vertical.	
CAD / CAD	Conceptos relacionados:
Referencias: Guidi, G., & Remondino, F., 2012 Guidi, G., & Russo, M., 2011	Computer Aided Desing.
Definición: Designación por siglas del diseño asistido por computadora (computer-aided design). Engloba un amplio abanico de herramientas computacionales que acompañan el trabajo de ingenieros, arquitectos y otros profesionales del diseño. Permite el trabajo en 2 y 3 dimensiones.	

Pre-procesamiento / Pre-processing	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Boquera, J. H., Esteve, P. N., Barros, H., Flores, Á. M., &amp; Ríos, J. L. D., 2011</p> <p>Fantini, F., 2012</p>	<p>Representación, modelado, modelo, model, 3d representation.</p>
<p>Definición:</p> <p>Contempla las fases de ajuste de color, contraste y luminosidad de capturas, la reducción de ruido, el pigmentado de las nubes de puntos y el registro de posiciones de las tomas de datos.</p>	
Post-producción / Post-processing	Conceptos relacionados:
<p>Referencias:</p> <p>Fantini, F., 2012</p> <p>Boquera, J. H., Esteve, P. N., Barros, H., Flores, Á. M., &amp; Ríos, J. L. D., 2011</p> <p>Guidi, G., &amp; Remondino, F., 2012</p>	<p>Retopology, remeshing, optimización.</p>
<p>Definición:</p> <p>Proceso realizado sobre el modelo digital 3D obtenido de las fases de registro, triangulación y publicación para adecuarlo a la aplicación final para la que se requiere.</p>	



### **3 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN: ETAPAS Y PROTOCOLO DE ACTUACIÓN**

Esta investigación desarrolla cómo aplicar la fotogrametría digital para obtener datos que documenten al patrimonio arquitectónico, arqueológico e industrial aportando un protocolo de actuación que ponga en valor su uso en el proceso integral de intervención.

De esta forma, se presenta un protocolo desglosado en cuatro etapas que comienzan con la instrumental y de actividades previas, continúa con el trabajo de campo y trabajo de gabinete y finaliza con los productos de ello obtenidos.

Es una realidad que las labores de intervención en el patrimonio siempre han generado muchos conflictos, ya que, a lo largo de la historia, han existido y cohabitado múltiples vertientes relativas a este asunto que, generalmente, son bastante opuestas.

Importantes ejemplos de esto puede ser el Restauo Estilístico o “en estilo” frente a la “arqueológica” que, si bien se dieron en el misma período, presentaban unos ideales completamente contradictorios.

Sin embargo, y atendiendo a las cartas que se han ido implantando con el paso del tiempo, los reglamentos nacionales e internacionales y la normativa complementaria, se han ido deponiendo estas ideas de conservación y restauración, dejando un panorama claro y perfectamente definido y acotado.

Así, con la carta de Cracovia del 2000 o, ya con anterioridad y atendiendo a las palabras de un gran historiador, crítico y especialista en la teoría de la restauración, Cesari Brandi (1906-1988), se establece como principio la referencia al futuro prescribiendo la necesidad de que, toda intervención, deberá facilitar y no coartar las futuras actuaciones. Es por ello que la cualidad de reversible se hace determinante en el desarrollo de esta tesis donde se estudia una metodología encaminada al desarrollo de un proyecto que permite estudiar, experimentar, conservar, grafiar y difundir sin la necesidad implícita de intervenir y, que, en caso de hacerse efectiva, siempre quedará constancia de origen.

### 3.1. ETAPA 01: EQUIPOS Y AJUSTES

El contenido del presente documento se ha distinguido por un ciclo inicial de redacción introductoria, análisis del estado de la cuestión, desglose de vocablos y definiciones relacionadas, referencias normativas y consolidación de objetivos. En este capítulo, la segunda parte de la tesis, de carácter más práctico y constituyendo la primera mitad del cuerpo del trabajo, se enumera el procedimiento seguido, diferenciado en forma de “etapas”, con la que se justifican las razones que han llevado a escoger un equipo, medio o proceso en lugar de otro.

Atendiendo a esto se proporcionan, ya en el capítulo 4, cuatro fases de intervención que detallan y relacionan con la forma de trabajo fijada en este capítulo donde cada una de ellas, organizada cronológicamente, definen:

### 3.1.1. La instrumentación

Durante el desarrollo de esta tesis se ha empleado una instrumentación determinada y sostenida evitando que, los modelos conseguidos durante la fase de investigación, pudieran sufrir variaciones formales por el mero hecho de usar equipos “más potentes” o de diferente naturaleza y no por cambios en torno a la metodología empleada durante los ensayos.

En la fase de trabajo de campo se ha usado un dispositivo específico para la captura fotográfica derivada del proceso fotogramétrico digital y otro, de diferente índole y que describiremos con más detalle a lo largo del presente capítulo, que nos han permitido realizar medidas de algunos puntos de apoyo.

Dentro del primer conjunto de aparatos se ha contado con una cámara digital, mientras que, en el segundo, se contó con dos tipologías de tecnologías para la medición de puntos de control y escalado de modelos. Se empleó, dentro de los sistemas de medida directa (Chueca, 1996), un flexómetro de mano y un distanciómetro láser y estación total de tecnología láser para la toma de datos por métodos indirectos (Salguero, 2013).

El uso de estas herramientas, simples, económicas y versátiles; nos conducen hacia la experimentación con un sistema que, a su vez, se puede considerar rápido, no especializado y polivalente; de cara a la obtención de resultados que denotan la economicidad en costes, formativa, temporal y materialmente hablando. Siendo uno de los objetivos de esta tesis demostrar estas cualidades en diferentes fases de intervención y en dispares tipologías de patrimonio.

#### 3.1.1.1. Equipo fotográfico

La evolución tecnológica en la que nos encontramos desde la segunda mitad del siglo XX y, en mayor medida, durante la última década, ha supuesto un notable progreso en la técnica, el abaratamiento y el incremento funcional del equipamiento fotográfico digital. A día de hoy, la adquisición de una cámara digital tipo réflex de calidad profesional es asequible para un amplio rango de bolsillos y, mucho más barato que esto, es la compra de modelos orientados y encaminados

al aficionado a la fotografía. Es por esto que disponer de una cámara con calidad semiprofesional o profesional no es un problema en este tipo de proyectos.

a. Terrestre

En torno a estas razones se escogió una Sony Nex-5 (figura 018), con montura tipo E y de tipología EVIL/híbrida/semicompacta, para la ejecución de estos experimentos. Ésta, por su manejabilidad tamaño reducido, comodidad de configuración, su precio contenido y su calidad fotográfica, mantiene ciertas características respecto a cámaras del mismo rango de precios (tabla 004) que la hacen asequible a su adquisición para un amplio rango económico-social sirviendo pues como equipo tipo para la extrapolación de resultados.

Figura 018. Fotografía de la cámara Sony Nex-5 empleada en todo el trabajo de campo de la presente tesis para el desarrollo de las labores fotogramétricas. Fuente: Autor.



Familia	Fabricante y modelo	Especificaciones	Precio medio
Híbrida	Sony NEX-5	Semicompacta, CMOS APS-C de 14 MP, objetivos intercambiables. Rango de ISO 200-12800 pasos de 1 EV. No tiene visor.	440 €
	Samsung NX100	Semicompacta, CMOS APS-C de 14 MP, objetivos intercambiables. Rango de ISO 100-3200 pasos de 1 EV. Visor electrónico.	392 €
	Canon EOS M10	Semicompacta, CMOS APS-C de 17.9 MP, objetivos intercambiables. Rango de ISO 100-12800 pasos de 1/3 EV y auto 100-6400. No tiene visor.	313 €
	Nikon 1 S2	Semicompacta, CMOS CX de 14.1 MP, objetivos intercambiables. Rango de ISO 200-12800 pasos de 1 EV. No tiene visor.	371 €
	Panasonic Lumix DMC-GF5	Semicompacta, CMOS 4/3 de 12 MP, objetivos intercambiables. Rango de ISO 160-6400 pasos de 1/3 EV. No tiene visor.	389 €
	Fujifilm X-A1	Semicompacta, CMOS APS-C de 16 MP, objetivos intercambiables. Rango de ISO 200-6400 pasos de 1 EV. No tiene visor.	410 €
	Olympus Pen E-PL2	Semicompacta, CMOS 4/3 de 12.2 MP, objetivos intercambiables. Rango de ISO 100-6400 pasos de 1/3 EV con modo auto 200-1600. Visor electrónico.	432 €
Réflex	Canon EOS 1200D	Réflex, CMOS APS-C de 17.9 MP, objetivos intercambiables. Rango de ISO 100-6400 pasos de 1 EV – auto 100-3200. Visor pentaespejo	369 €
	Nikon D3300	Réflex, CMOS APS-C de 24 MP, objetivos intercambiables. Rango de ISO 100-12800 pasos de 1 EV – auto personalizable. Visor pentaespejo	401 €
	Pentax K-S1	Réflex, CMOS APS-C de 20 MP, objetivos intercambiables. Rango de ISO 100-102400 pasos de 1/3, 1/2 ó 1 EV – auto personalizable. Visor pentaprismo	429 €

Tabla 004. Tabla comparativa de cámaras semiprofesionales de las principales marcas con las alternativas de mercado dentro del mismo rango precio / especificaciones. Fuente: Autor.



Su principal característica respecto a cámaras de semejante rango calidad/ precio en su salida al mercado era el hecho de presentar un sensor<sup>18</sup> igual de grande que el dispuesto en las cámaras réflex, no presentar espejo y la posibilidad de usar objetivos intercambiables.

Esta característica entraña dejar de lado a los llamados factores de multiplicación que comportaban otros modelos de cámara y que, para un tamaño de sensor inferior al fotograma de 35 mm entrañaban la aplicación de un factor de multiplicación de las lentes de las que se hacía uso (a menudo factores de 1,4 o 1,6).

Este coeficiente de multiplicación asiste al empleo de teleobjetivos, pero

---

<sup>18</sup> Sensor Exmor APS-C HD CMOS o Full Frame de 23,4 × 15,6 mm.



Figura 019. Labores de levantamiento fotogramétrico terrestre en la fachada principal del edificio histórico Palacio Almudí, Murcia. Fuente: Autor.

sanciona el automatismo de grandes angulares. Podemos concluir por tanto que, la cámara empleada, considerada semiprofesional, presenta unas cualidades muy convenientes para el objetivo al que se iba a destinar.

Durante la fase de trabajo de campo (figura 019) y toma fotográfica se empleó una lente con distancia focal variable<sup>19</sup> en valor sostenido de 18 mm. El hecho de utilizar focales variables se debe a la versatilidad de este tipo de objetivos frente a una pérdida mínima de estabilidad obtenida con las lentes de tipo fijo.

<sup>19</sup> E 3,5-5,6/18-55mm OSS (SEL-1855).



Los resultados fotográficos se han conservado dentro de cada proyecto en tres formatos diferentes: .raw, .jpeg y .tiff. Siendo los empleados para la generación de modelos este último por cuestiones que se definirán y detallarán más adelante.

#### b. Aéreo

Dadas las posibles limitaciones visuales y de posicionamiento que aparecen en algunos trabajos de fotogrametría terrestre y, para aquellos casos en los que se hace indispensable la captura aérea de imágenes (figura 020) que complementen o aseveraren la fiabilidad de los datos obtenidos desde el suelo, se ha hecho uso de un vehículo aéreo no tripulado, UAV, que, pudiendo poseer heterogéneas formas,



Figura 020. Labores de levantamiento fotogramétrico con apoyo aéreo en la Torre Nazarí de Huércal-Overa, Almería Fuente: Autor.

dimensiones y particularidades según el uso, en nuestro caso nos apoyaremos en un modelo comercial, perfectamente definido y acreditado internacionalmente en varios sectores (entre los que está la fotogrametría).

Contamos con un dron del fabricante Chino DJI<sup>20</sup>. El modelo empleado es de la serie Phantom en su tercera versión modelo “professional”. Pertenece a la familia de los UAV’s de ala rotatoria en su versión cuadricóptero por poseer cuatro rotores. Vuela sin tripulación a bordo, y está pilotado/controlado desde una

<sup>20</sup> Fabricante dron DJI: [<http://www.dji.com/es/phantom-3-pro/>].

ubicación remota. Dispone de los sistemas de posicionamiento GPS y GLONASS combinados, cuenta con estabilización propia y con unidades de navegación que permiten el vuelo preciso y programado hasta un alcance de 3,5 km. Todas estas determinaciones garantizan, por un lado, establecer con anterioridad al operador la ruta de vuelo (fig. 021 y 022), su velocidad y distancia para garantizar una longitud de solape suficiente entre imágenes (EISENBEIß, 2009).

La inmensa cantidad de datos derivados del trabajo con drones es procesada por el mismo software de restitución fotogramétrica empleado para el desarrollo de la tesis, Agisoft Photoscan, con la idéntica intención final: la obtención de modelos digitales con validez métrica que puedan ser explotados y que sirvan de apoyo a la conservación, mantenimiento y difusión de bienes patrimoniales. La captura combinada cenital y oblicua en respuesta a la necesidad de generar modelos digitales precisos del terreno (MDT) y de superficie (MDS), entre otras, podemos utilizarlos tanto en herramientas CAD y GIS/SIG, como en ArcGIS, QGIS, Autocad o Global Mapper.

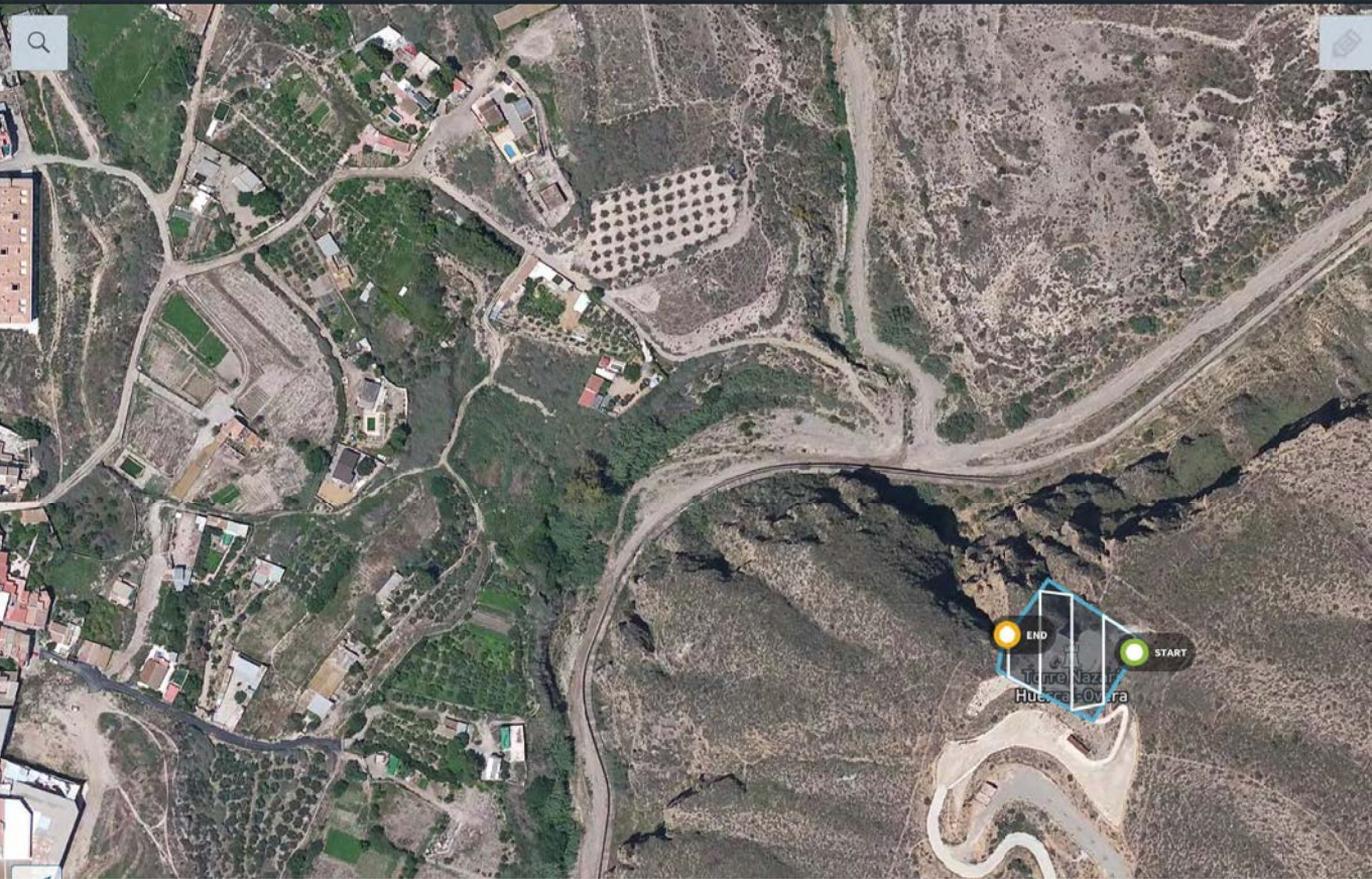
La potencia y variabilidad del uso de los UAV's en este campo es infinita.

En nuestra experimentación hemos empleado la cámara incorporada en el Phantom con sensor 1/2.3" CMOS, con 12,4 píxeles efectivos con un campo de visión equivalente a 35 mm, f/2.8 y velocidad del obturador de 8s - 1/8000s.

La altura del vuelo, a pesar de depender de la extensión y naturaleza de aquello que pretendamos documentar, en los levantamientos en detalle o para excavaciones, elementos arquitectónicos generales o de grandes estructuras, la altura idónea para la captura fotográfica es de entre 10 y 15 metros y/o 30 a 35 metros respectivamente. Esta distancia es con relación al punto de estacionamiento del aparato empleando, normalmente, la cota más alta del entorno de aquel lugar en que se emplace el bien sobre el que operemos.

Por experiencia, la velocidad óptima para ejecutar el vuelo es de 1.5 m/seg.

Figura 021 (superior derecha) y figura 022 (inferior derecha). Ejemplo de ruta de vuelo preestablecida en gabinete para labores de conservación del patrimonio. Torre Nazarí de Huércal-Overa, Almería. Fuente: Autor



evitando así la trepidación y las capturas se realizan de modo continuo cada segundo o cada 2 ó 3 segundos de acuerdo a los supuestos antes descritos. Con esto logramos que las imágenes emanadas se solapen al menos en un 60%. Al disponer de más información gráfica de la rigurosamente ineludible, si alguna fotografía fuera imperfecta, podría ser suprimida con tranquilidad sin que esto perturbe al conjunto del proyecto.

Las imágenes, al igual que con las capturas terrestres, se conservan en los formatos: .raw, .jpeg y .tiff.

A modo de conclusión, se detallan las especificaciones concretas del Phantom 3 Profesional de referencia para esta tesis:

Configuración	Cuacóptero
Propulsión	Hélices autoajustables HUB compuesto
Peso (batería y hélices incluidas)	1280 gramos
Tamaño diagonal (hélices excluidas)	350 mm.
Altura máxima	6000 metros
Alimentación	4 motores
Tipo de batería	2600 mAh LiPo18650 2S
Calidad de transmisión en directo	480P @ 30fps
Velocidad máxima ascenso	5 m/seg.
Velocidad máxima descenso	3 m/seg.
Velocidad máxima	16 m/seg.
Precisión en vuelo estacionario	Vertical +/- 0,1 metro Horizontal +/- 1,5 metros

Tabla 005. Especificaciones técnicas para el modelo DJI Phantom Profesional. Fuente: Realizado por el autor de acuerdo con lo dispuesto por el fabricante del RPA.

### c. Consideraciones generales.

De acuerdo con las argumentaciones mostradas en los dos subapartados anteriores (a y b) se presentan una serie de conclusiones generales en torno a lo que se refiere a los equipos fotográficos:

- Durante la captura se deben evitar las fotografías borrosas o “movidas”.
- El uso de cámaras digitales en trabajos fotogramétricos es ya generalizado.
- Las especificaciones de la cámara varían sustancialmente la precisión del modelo tridimensional conseguido (si la estrategia de trabajo fotográfico ha sido buena).
- No cambiaremos el zoom de la cámara (pues no es ni habitual ni recomendable) y, de hacerlo, no olvidaremos calibrar la cámara (antes o después) del trabajo de campo con esas mismas especificaciones.
- Buscaremos la mejor franja horaria para realizar la toma fotográfica buscando que las imágenes estén justamente iluminadas.
- Evitar el balance mecánico de blancos.
- Se recomienda la toma de imágenes en formato crudo (RAW) pues se mejora la calidad de las mismas y, posteriormente, en el trabajo de gabinete, permitirá al software fotogramétrico obtener más información de cara al cálculo del modelo 3D.
- Es interesante contar con un ordenador portátil en campo que permita no perder de vista, in situ, las imágenes tomadas y poder así comprobar que la calidad de estas es la esperada.

#### 3.1.1.2. Equipos topográficos

Dada la necesidad de, en todo caso, escalar y comprobar la veracidad de los modelos generados mediante fotogrametría para su posterior uso en formato bi y/o tridimensional de validez métrica y, en algunas circunstancias, de conocer la situación de ciertos puntos de control vitales para estipular la orientación externa de las cámaras, a lo largo del desarrollo de los ensayos de esta tesis doctoral se han empleado tres tipologías de dispositivos:

- Una estación total para la medición sin prisma modelo Leica FlexLine TS02.
- Un distanciómetro láser modelo Leica DISTO Classic 5a.
- Un flexómetro Stanley powerlock de acero inoxidable 5m x 19mm inox.



En aquellos casos, de común aparición en los trabajos desarrollados con esta técnica, en los que se hace imposible el estacionamiento de instrumental topográfico (figura 023) y dado que lo que se pretende con esta tesis es el desglose y determinación de un sistema económico y accesible, en la mayoría de los ejemplos expuestos en capítulos posteriores se ha empleado el distanciómetro láser y el flexómetro de mano como útiles de medición, dejando la estación total (figuras 024, 025 y 026) como herramienta de comprobación dimensional y validación de resultados.

En cualquier caso y sirviendo de reafirmación en lo anteriormente expuesto, estos medios son de fácil adquisición, económicos, en gran medida no impeditivos por falta de formación en uso previa y ligeros, pudiendo ser trasladados a entornos de complicada colocación o difícil acceso.

### 3.1.1.3. Instrumentos auxiliares

- Trípode. Modelo Mantona Scout de triple apoyo, patas de goma y rótula 360°. Dado que en casos en los que el tiempo de exposición es un valor determinante para la correcta toma fotográfica, el uso de un trípode evita en gran medida el riesgo de que las capturas se vean afectadas por una vibración o “movimiento” pues sirve de sustento a la cámara dotándola de una mayor estabilidad. Atendiendo a aclaraciones de trabajo dadas por Guidi, G., Russo, M. y Beraldin, J.A. (2010, p. 203): La ganancia tridimensional va entonces formalizada fijando el equipo sobre un trípode y orientándola hacia la banda de interés.

- Cuerda. Tipo trenzada de poliéster a 6 mm de diámetro y 12 metros de largo. Herramienta de apoyo (figuras 027 y 028) a la definición de alineaciones generales, paralelas a los bienes a levantar y/o soporte al arco en torno al cual se fotografía en perspectiva el cuerpo objeto del levantamiento.

Figura 023 (superior izquierda). Etapa de levantamiento de puntos de apoyo en trabajo de campo. Castillo de Santa Catalina del Monte o de la Luz en el Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 024 (inferior izquierda). Estación total de referencia empleada en las labores de apoyo a la fotogrametría donde proceda su uso. Fuente: Autor.

Figura 025 (superior derecha). Vista frontal. Fuente: Autor.

Figura 026 (inferior derecha). Vista lateral con eje horizontal y altura de aparato. Fuente: Autor.



Figura 027 (izquierda) y figura 028 (derecha). Tirada de cuerdas para el trazado de alineaciones y localización de puntos de estación fotográfica. Monasterio de Los Jerónimos de Espinardo, Murcia. Fuente: Autor.

- Disparador a distancia. Modelo inalámbrico Sony RMT-DSLR2. Un control remoto a la hora de realizar una captura facilita la operación de evitar el movimiento de la cámara en momentos de baja intensidad lumínica y tiempos de exposición largos.

- Plomada. Tipo bronce de 16 onzas y acabado torneado. Utensilio para la definición de verticales y medio para establecer rápida y eficazmente un sistema de referencia en torno a un plano vertical contenido en una fotografía. A pesar de la versatilidad alcanzada actualmente con la metodología de captura fotográfica y el software de fotogrametría, este instrumento puede colaborar en la realización de dichos ajustes de forma sencilla.

- Pértiga de elevación para apoyo a la fotografía en altura dentro de la fotogrametría terrestre. Nos permitirá alcanzar una altura elevada con respecto al nivel de tierra salvando, en ciertas ocasiones, los elementos de balconada u ornamentación contenidos en las plantas más bajas de bienes patrimoniales de origen arquitectónico (figura 029).

Figura 029. Trabajo fotogramétrico terrestre en altura con ayuda de pértiga y disparador a distancia. Casa de los Salazar Rosso. Desde 1992 Museo Arqueológico de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

MUSEO  
ARQUEOLOGICO



TESOROS RESTAURADOS  
MUSEO ARQUEOLOGICO NACIONAL DE MADRID

### 3.1.2. El calibrado

Como ya se ha precisado dentro del apartado 2.2, la calibración de una cámara consiste en determinar cómo esta desvirtúa/ deforma las fotografías en el transcurso de la toma de imágenes, es decir, las variaciones tridimensionales sufridas por cada uno de los puntos que fotografiamos hasta su proyección en el sensor o película de la cámara. Dado que las cámaras empleadas en todo trabajo fotogramétrico (incluyendo aquellas de alta calidad) no poseen un sistema perfecto de lentes, todas ellas sufren diversos tipos de aberraciones.

La calibración interna de la cámara es pues un término usado para definir los parámetros que componen el paso de los rayos a través de la lente y su proyección (figura 030) e influencia sobre el plano imagen siendo, por todo ello, necesario eliminar dichas deformaciones o, al menos, determinar los valores alcanzados por estas.

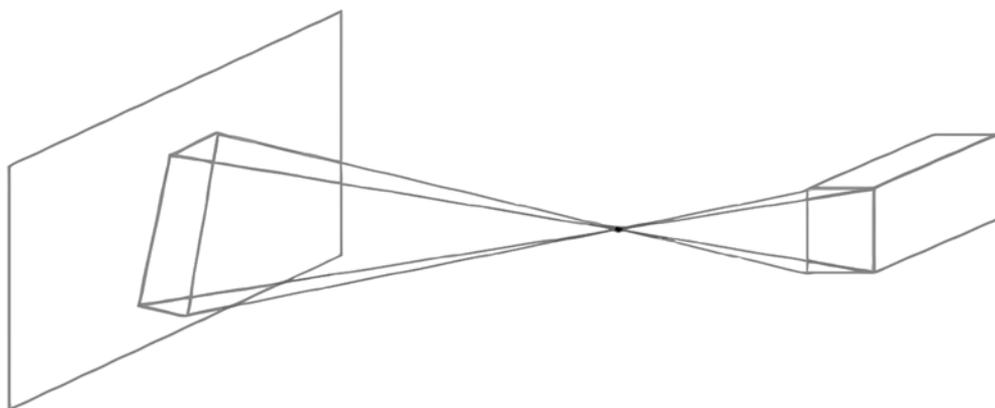


Figura 030. Representación tridimensional del mecanismo de proyección en la captura fotográfica. Fuente: Autor.

El reconocimiento, determinación y compensación de estos parámetros característicos de la cámara pueden conocerse antes o después de la toma fotográfica in-situ pero, siempre, antes de comenzar el proceso de levantamiento con el software fotogramétrico. Coexisten desiguales aproximaciones bibliográficas que solventan esta etapa de la metodología, sin embargo, y dado que no es uno de los objetivos de este trabajo el cotejo o viable perfeccionamiento de las características de los diferentes métodos de calibración, más adelante se muestra una correlación de resultados obtenida durante el proceso de calibrado de una misma cámara en

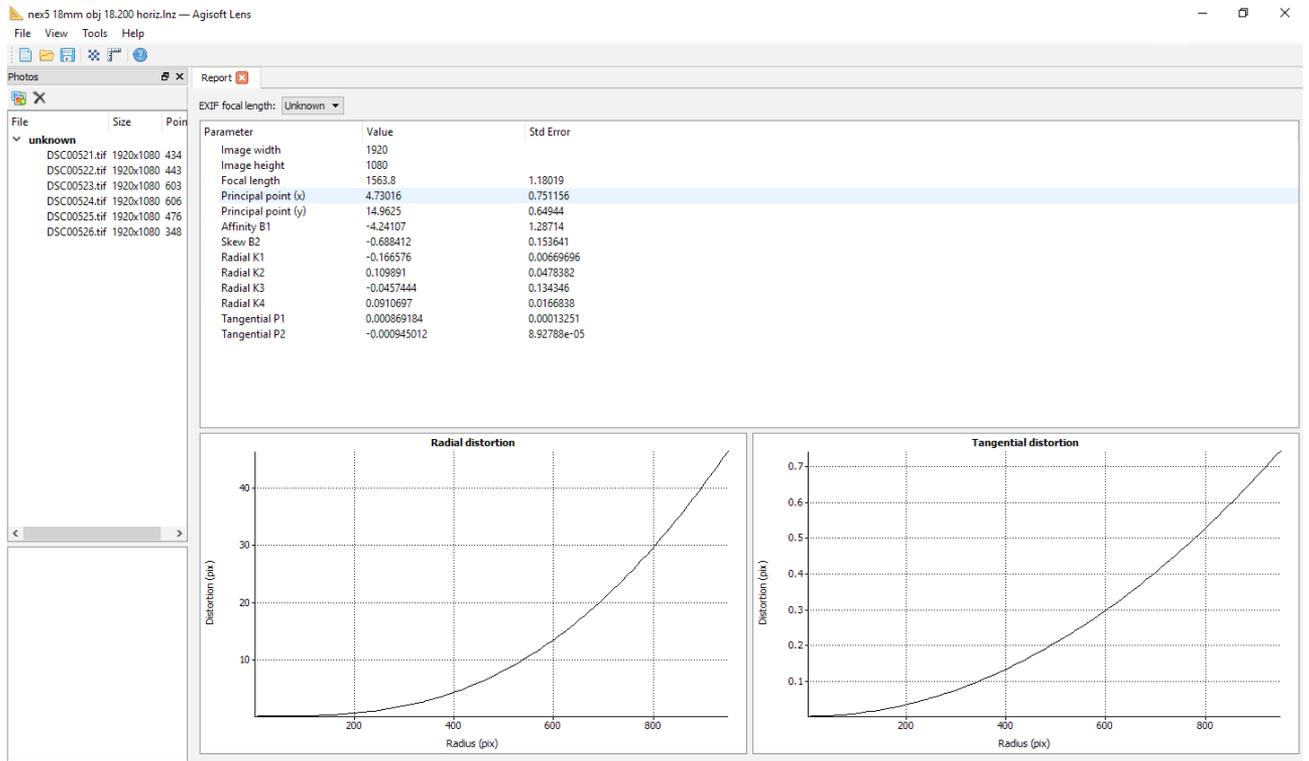


Figura 031. Gráficas de distorsión radial y tangencial y parámetros de calibrado obtenidos a través de Agisoft Lens para la cámara de referencia empleada en el desarrollo de la tesis. Fuente: Autor.

iguales condiciones usando dos herramientas informáticas de diferentes fabricantes.

Ante esta tabla de resultados allí expuesta y considerando propuestas similares de otros autores (Pérez, 2009) donde se ejecuta una exposición comparativa a través de un estudio de técnicas actuales, tanto en el terreno de la visión por ordenador como en el de la fotogrametría, poniendo en evidencia la elección de una salida más cercana a esta última.

La sistemática, por ende, empieza con un primer bloque dedicado al cómputo de los datos de las cámaras por medio del cálculo. En la figura 031 anexa a este párrafo se muestran los resultados obtenidos en la fase de calibrado de acuerdo con los parámetros intrínsecos de la cámara donde se adquieren los datos de distorsión radial y tangencial, distancia focal y punto principal entre otros. Concretamente hacen referencia a los valores obtenidos de la cámara de referencia ya descrita y empleada para el desarrollo de todos los levantamientos.

Dada la intención final métrica para la adecuada y detallada documentación y preservación digital de los bienes patrimoniales objeto de esta tesis la cámara fotográfica ha de ser calibrada y los resultados del calibrado volcados al software.

Existen varios algoritmos de calibrado de cámaras digitales. Podemos encontrarnos, por un lado, con aquellos en los que sólo es necesario el empleo de dianas o targets, naturales o artificiales (figura 032), incorporadas a aquello que pretendemos grafiar o, directamente, fotografiando a estas previa impresión en papel (figura 033) y, por otro, con aquellos sistemas que, por su naturaleza requieren únicamente de un monitor<sup>21</sup> sobre el que realizar las tomas fotográficas de control de distorsión (figuras 034 y 035).

El procedimiento más indefinido es el conocido como “self-calibration bundle adjustment”, implantado a finales de los años setenta en la fotogrametría. El estándar matemático parte de ecuaciones de colinealidad con la intención de conseguir los llamados parámetros adicionales (AP) y evitar los potenciales errores sistemáticos propios de la cámara empleada.

En numerosas aplicaciones la etapa de calibración de la cámara consta de la sola obtención de la longitud focal, pero, sin embargo, para desarrollar restituciones más precisas, es preciso alcanzar a conocer todos los parámetros de calibración mencionados anteriormente. Así, en el transcurso de la fase de calibración, se establece la desorientación geométrica entre la realidad (colinealidad) y el procedimiento de captación de imágenes.

Entre los métodos más habituales en esta etapa de trabajos previos a la adquisición de imágenes de un objeto tridimensional está el organizado por pun-

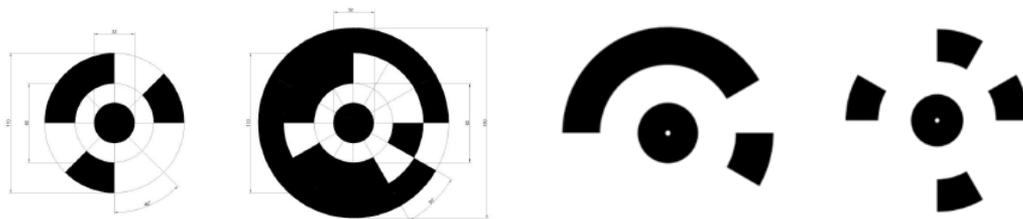


Figura 032. Targets o dianas artificiales. De izquierda a derecha: Diana Photomodeler de 8 bit, diana RAD Coded Photomodeler de 12 bit, dos formatos de diana PhotoScan 12 bit. Fuente: Software fotogramétrico Photomodeler y PhotoScan respectivamente.

<sup>21</sup> Sistema de calibrado característico en el software de Agisoft.

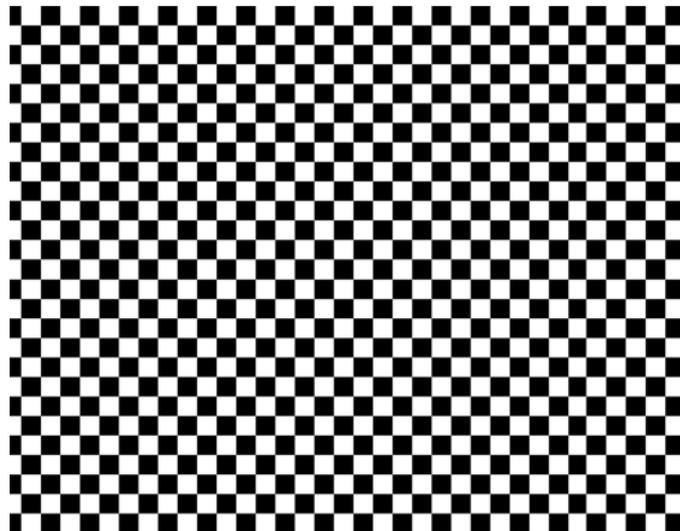
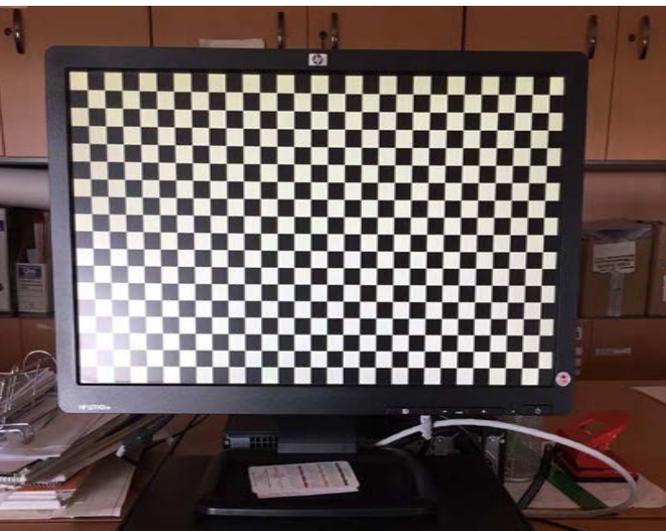
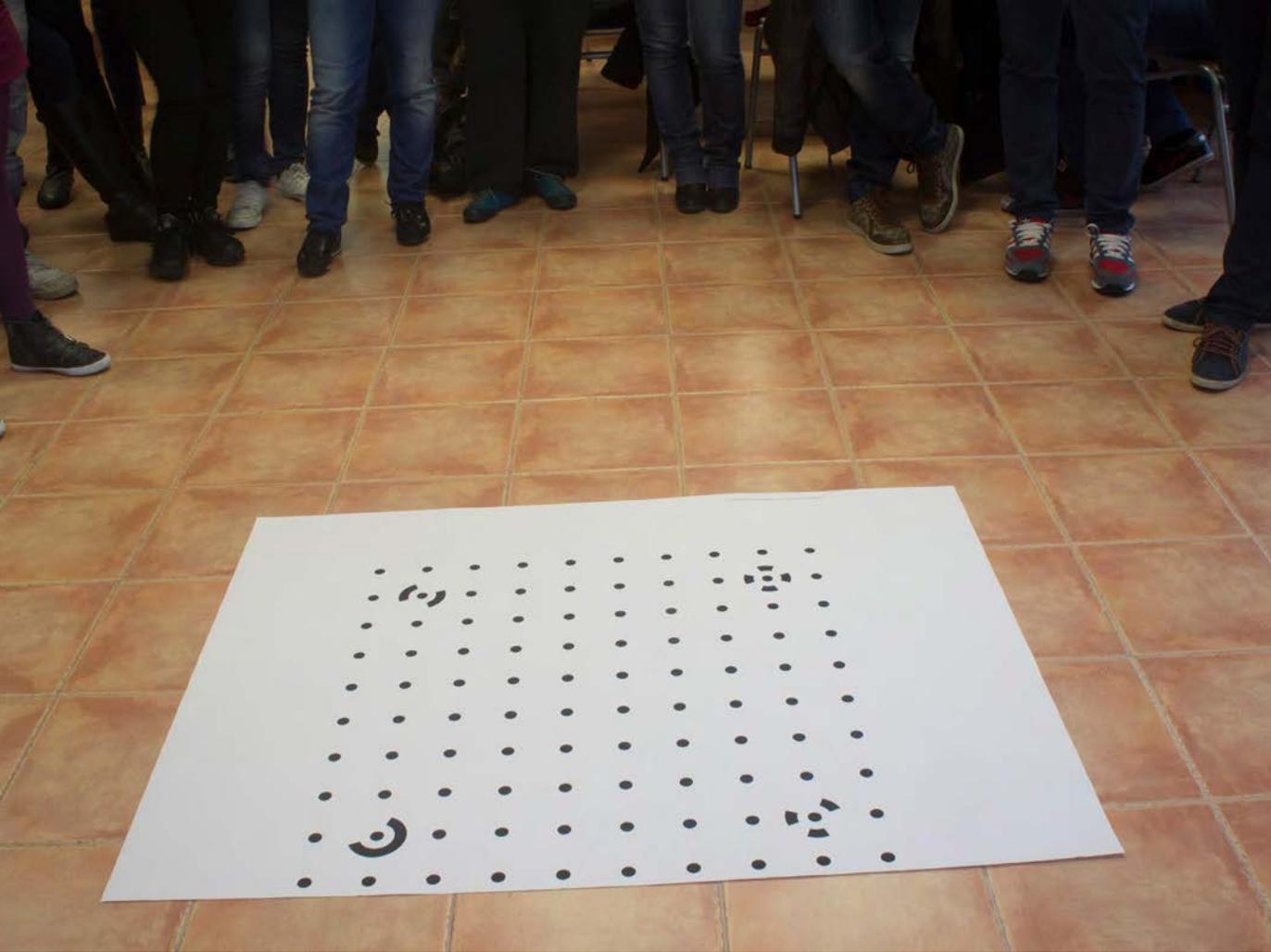


Figura 033 (superior), 034 (izquierda) y 035 (derecha). Respectivamente: Planilla impresa y de perfecta planeidad en formato A1 para proceso de calibrado por Photomodeler; Planilla digital de Agisoft Lens sobre monitor; Planilla digital para calibrado con Agisoft Lens. Universidad Católica San Antonio de Murcia en Espinardo, Murcia. Fuente: Autor.

tos señalizados fácilmente reconocibles, conmensurables y de excelente precisión dentro de las imágenes. Como dianas se suelen usar puntos de coordenadas 3D conocidas previamente y, por lo tanto, con posibilidad de emplearse como puntos de registro en la obtención del bundle. En otras ocasiones en las que la precisión requerida sea menor es posible el uso de targets naturales.

Dado que se ha escogido Agisoft Photoscan como software de trabajo fotogramétrico y, con la intención final de conseguir un sistema integral en torno a un mismo programa informático se hace necesaria la aportación de la tabla de control (tabla 006) y contraste donde queda patente la mínima desviación de valores en torno a un ejemplo concreto, para unas mismas tomas fotográficas, un igual método fotogramétrico y software de obtención del modelo, pero, con diferentes plantillas de calibrado.

Esta utilidad, del productor Agisoft, es gratuita y nos permite la calibración automática de lentes empleando una pantalla, monitor o patrón impreso como banco de calibración usando una metodología singularmente simple durante la toma fotográfica. En esta calibración se perciben modelos paramétricos completos y coeficientes de distorsión no lineales. Los ficheros generados pueden usarse directamente en Photoscan o exportarse para ser empleados con programas de terceros.

	Photomodeler	Agisoft Lens
f	1519,55	1530,58
Cx	-6,25602	-7,63025
Cy	-2,45068	-6,42556
Skew	-0,00525075	0,0793301
K1	-0,175865	-0,190988
K2	0,113828	0,236626
K3	0,0174085	-0,303994
K4	0,0662796	0,266273
P1	-0,000975966	-0,00200091
P2	0,00078516	-0,000410642

Tabla 006. Comparativa de resultados y desviaciones de calibrado en torno a Sony Nex-5 18mm formato imagen TIFF orientación horizontal Fuente: Autor.

En el proceso de calibrado con Agisoft Lens<sup>22</sup>, y dado que el espacio de trabajo presenta un estilo simple (figura 036), limpio y evidente (pues los comandos de trabajo están colocados de forma ordenada de acuerdo con la evolución de tareas de trabajo de izquierda a derecha), seleccionaremos en inicio la opción “Show Chessboard”; fotografiaremos el patrón; pulsaremos escape para salir de la pantalla completa y volcaremos las imágenes de nuestra cámara al ordenador; escogeremos la opción “Add Photos” e, inmediatamente, ya estaremos preparados para proceder a calibrar la cámara seleccionando la opción “Calibrate”.

Es recomendable tener en cuenta cuatro aspectos determinantes a la hora de realizar el proceso de calibrado con Agisoft Lens:

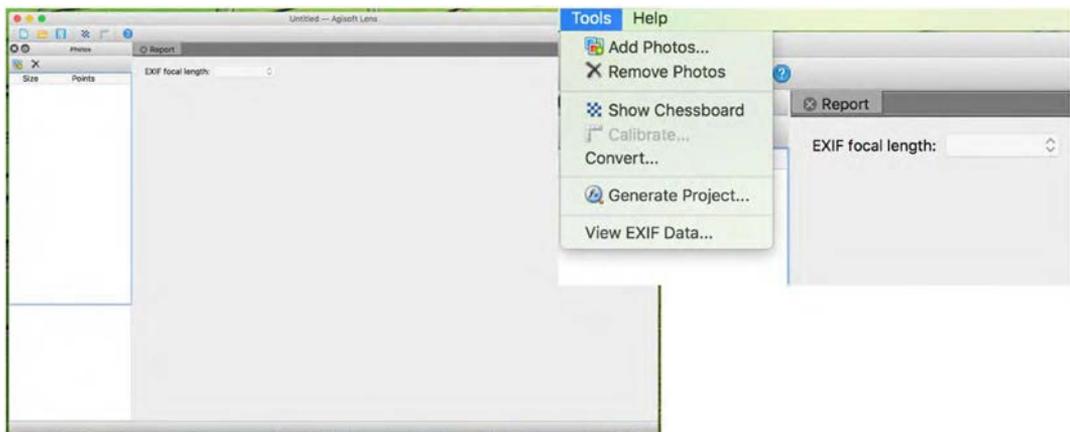


Figura 036. Muestras de mala realización de tomas fotográficas sobre patrón digital de Agisoft Lens. Fuente: Autor.

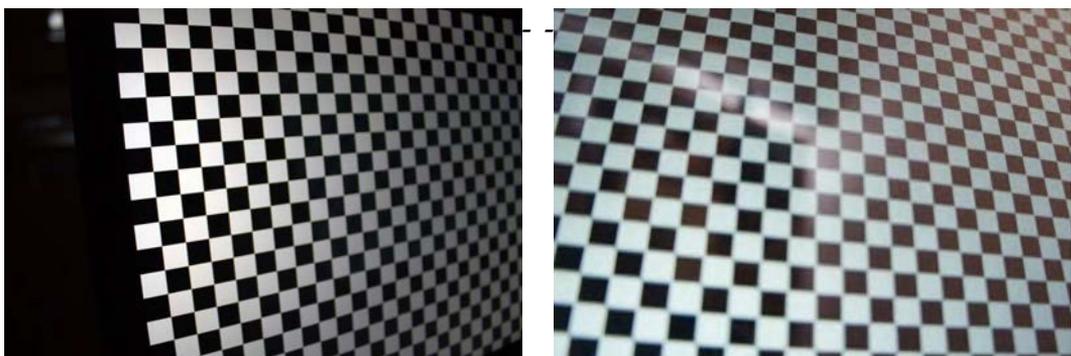
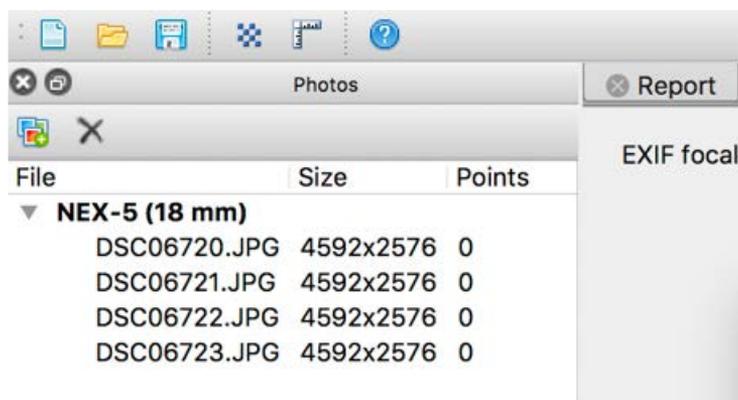


Figura 037. Muestras de mala realización de tomas fotográficas sobre patrón digital de Agisoft Lens. Fuente: Autor.

<sup>22</sup> Agisoft Lens usado desde la versión 0.4.1 beta 64 bit a versión 1.3.0 beta 64 bit (build 3772).

- Tener especial precaución en que la captura fotográfica (figura 037) sólo contenga patrón, es decir, para que las imágenes sean aptas al calibrado se requiere que en cada una de ellas sólo aparezca plantilla de patrón y no espacio externo a la estancia donde se realizaron las fotografías o partes del marco/límites de la pantalla sobre la que se proyectó el “ajedrez”.
- Ejecutado el programa y abierto el patrón a pantalla completa se retire el puntero del ratón del conjunto de la pantalla llevándolo a uno de los laterales de la misma donde quede perfectamente oculto.
- Que, como mínimo, se realicen tres fotografías siendo, en todo caso, recomendable realizar al menos cinco para evitar que errores inesperados impidan el adecuado calibrado de la cámara.
- Que las fotografías se realicen evitando los reflejos y formando un arco en torno al patrón de proyección siempre intentado que el punto central de nuestro objetivo apunte a un eje imaginario que divide la pantalla en dos en torno al eje vertical de la misma.

El resultado obtenido podrá guardarse en formato de fichero de calibrado o como proyecto de calibrado. La diferencia fundamenta estriba en que, el primero (de extensión .xml), será aquel ítem que deberemos “volcar” en nuestro proyecto fotogramétrico de Agisoft PhotoScan y, el segundo (de extensión .lnz), meramente es un fichero donde podremos acudir cuando precisemos hacer alguna comprobación concreta sobre el proceso llevado a cabo, los parámetros estudiados u otras



File	Size	Points
▼ NEX-5 (18 mm)		
DSC06720.JPG	4592x2576	0
DSC06721.JPG	4592x2576	0
DSC06722.JPG	4592x2576	0
DSC06723.JPG	4592x2576	0

Figura 038. Descripción de modelo de cámara, resolución y nomenclatura de fotografías sobre patrón de calibrado dentro de la interfaz de Agisoft Lens. Fuente: Autor.

circunstancias acontecidas durante el proceso de calibrado.

Durante todo este proceso, el nombre de la cámara (fabricante y modelo), el número de imágenes del proyecto, la lente y el tamaño de las capturas en píxeles se mostrarán en la columna superior izquierda (figura 038) permaneciendo agrupadas por directorios aquéllas que presenten la misma distancia focal.

Cada calibrado (figura 039) responderá y será aplicable a un tipo/formato/ extensión de captura (.raw, .tiff, .jpg, .png, .bmp, variantes de portable bit map o .mpo); un tipo de orientación/ cabeceo (vertical u horizontal); y una focal concreta (16 mm, 18 mm, 35 mm, etc). En aquellos casos en los que se pretendiera cargar un archivo de calibrado erróneo dentro de un proyecto concreto, PhotoScan nos derivará un mensaje de error indicando el desajuste de tamaño entre lo contenido en el trabajo y aquello que se pretende volcar al mismo.

Previo a la obtención de los parámetros desconocidos del sistema y tras seleccionar la opción de calibrado dentro de Lens, se nos mostrará una ventana emergente sobre la que tendremos que escoger aquéllos ítem que nos son útiles para el levantamiento sobre el que operamos.

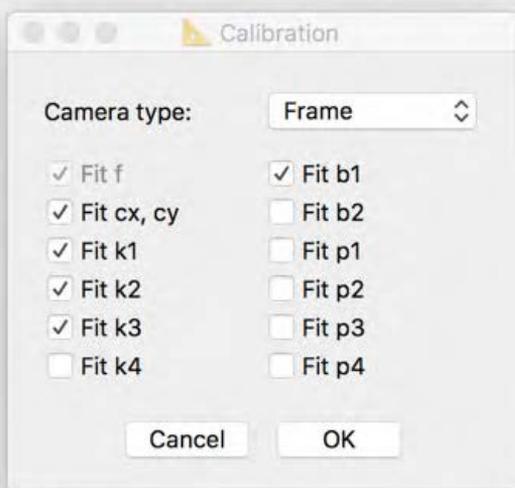


Figura 039. Ventana emergente en Agisoft Lens para obtención de parámetros característicos de una cámara fotográfica. Fuente: Autor.

El algoritmo que restituye simultáneamente cuantas medidas desconocidas de la cámara nos interesan, la valoración de las precisiones y las correlaciones entre estos parámetros son: las coordenadas de los puntos homólogos entre las fotografías, la orientación de la cámara (interior y exterior) y los AP a los que anteriormente hicimos referencia.

Las coordenadas de los puntos equivalentes observados en las diferentes fotografías nos establecen su posición y, por cada determinación se rasguea una ecuación de colinealidad y un sistema de ecuaciones, rectificado y resuelto repetidamente dando como resultado las incógnitas buscadas.

Los parámetros obtenidos con esta metodología son y significan:

f	Distancia focal medida en píxeles
cx, cy	Coordenadas de los puntos principales, es decir, las ubicaciones de la interceptación del eje óptico de la lente con el plano del sensor expresado en píxeles
b1, b2	Afinidad e inclinación (no-ortogonalidad). Coeficientes de transformación
k1, k2, k3, k4	Coeficientes de distorsión radial
p1, p2, p3, p4	Coeficientes de distorsión tangencial

Tabla 007. Desglose de coeficientes y parámetros determinados por el software de calibrado. Fuente: Autor.

Dado que cuando realizamos una toma fotográfica de un cuerpo cercano conseguimos apreciar como este se curva (Almagro, 2014) levemente, efecto barril, o curvarse en sentido cóncavo y, por tanto, contrario al anterior, efecto cojín. Uno y otro se originan porque las cámaras fotográficas desfiguran/ deforman la realidad al encuadrar la imagen en su objetivo.

Esta deformación, sobrevenida principalmente por la lente curva de las cámaras y que introduce deformaciones radiales y la no correspondencia entre el eje óptico de la cámara y el real o geométrico de la imagen se corrigen de forma autónoma y automática en el programa de calibrado atendiendo a varios aspectos matemáticos (Aguirre, 2016).

Es de destacar el modelo de calibración analítica de Brown que, tal y como establece el manual de usuario<sup>23</sup> de Agisoft Lens, y para cuando se pretende conocer la distorsión de las lentes no lineales, ha de simularse el modelo mediante la distorsión de Brown. Este documento añade además:

“Otherwise it is most unlikely that processing results will be accurate. Fisheye and ultra-wide angle lenses are poorly modeled by the common distortion model implemented in PhotoScan software, so it is required to choose proper camera type in Camera Calibration dialog prior to processing.”

Con lo que nos deja patente la importancia del tipo de lente empleada en la fase de calibración y, por consiguiente, en la de levantamiento.

Brown con sus investigaciones de 1964, 1966 y 1968, en su modelo clásico de distorsión radial, considera el origen de coordenadas de la imagen como la intersección del eje visual con el plano imagen donde la corrección radial entre la posición de un punto arbitrario de la fotografía ( $x, y$ ) y su localización real del mismo ( $x', y'$ ).

Al estar trabajando sobre un software y un sistema de calibrado que usa un patrón bidimensional fotografiado desde diferentes ángulos (cómo sucede en la mayoría de los programas de calibrado comerciales<sup>24</sup>) y considerado como de damero, es necesario localizar las esquinas de cada cuadrado donde tras la cuidada captura convergente y distribución uniforme de imágenes, la calidad de la calibración se resiente fuertemente influenciada por la geometría.

Dentro de ámbitos experimentales de la fotogrametría close-range (Remondino y Fraser, 2006) y para este tipo de calibrados, se dice que la exactitud aumenta con el número de puntos levantados para cada imagen, estimando óptimo el poseer más de una veintena de puntos por fotografía y la auto-calibración es fiable únicamente cuando la geometría colabora y favorece el adecuado levantamiento.

---

23 Manual de usuario de Agisoft Lens: [[http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_3\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_3_en.pdf)].

24 Software de calibrado bidimensional comercial: Photomodeler, PhotoScan, Matlab, Rapidcal, ImageMaster de TOPCON, etc.

### 3.1.3. Equipos de fotografía: actividades previas

De cara a la obtención de una adecuada restitución de un modelo geométrico tridimensional, se han de tener en consideración una cadena de factores, en cuanto a la configuración de la cámara se refiere, y por los que la calidad, fiabilidad y precisión del modelo final se podría ver afectado.

El primero de ellos, muy importante y relativo al equipo fotográfico, hace referencia a los parámetros escogidos en este previo al desarrollo del trabajo de campo.

Podemos destacar entre ellos:

- El tiempo de exposición. Definido con anterioridad y que hace referencia al tiempo que el sensor percibe luz que es consentida en paso por el obturador. A pesar de ser un valor variable en torno a otros factores se debe tener especial cautela pues, a mayor exposición, se incrementa

enormemente la posibilidad de que las tomas se muestren “borrosas”. El apoyo en equipos auxiliares de sustentación, como trípodes de plataforma o rótula, y evitando el contacto brusco con la cámara al pulsar el botón de captura, consiguen reducir a la mínima expresión el riesgo.

- El índice ISO. Se considera determinante pues es clave para la correcta exposición de la imagen. La velocidad de este parámetro instaura la sensibilidad de la imagen en torno a la intensidad/fuerza con que se acogen los haces de luz. En torno a la aplicación práctica en labores de restitución, podemos concluir que a menos ISO, o menor velocidad ISO, la nitidez es mayor y el grano más refinado.

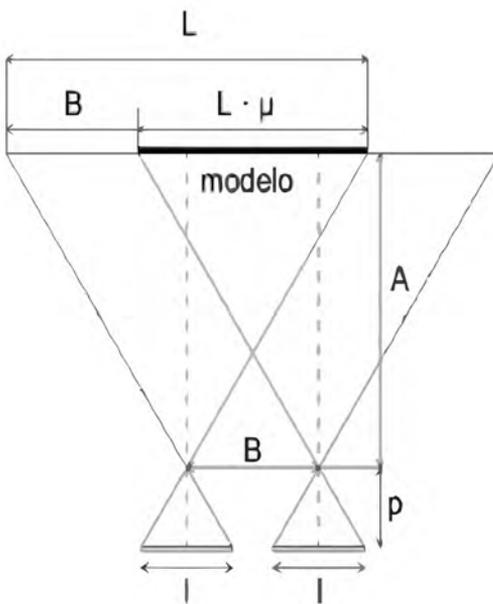


Figura 040. Gráfica de apoyo al cálculo de recubrimientos fotogramétricos. Relación entre la distancia  $B$  y la separación  $A$ . Fuente: Realizado por el autor atendiendo a Cannarozzo, Cucchiarini y Meschieri, 2012 p. 40.

- Relación entre la longitud focal y el

diámetro de apertura efectivo, el número  $f$ . Tal y como se define en el apartado 2.2 de esta misma tesis, se trata de una relación  $f/d$  y si afino, permite variar el tamaño de la pupila y regular el monto de luz que logra alcanzar el sensor. Dentro de la fotogrametría, podemos afirmar que, dado que este factor resuelve la nitidez en los diferentes planos de una misma fotografía, es interesante que toda la imagen esté enfocada.

Además de estas causas, otro parámetro importante radica en el estudio posicional de las cámaras en su relación espacial entre ellas y frente al objeto de estudio. Al ser estrictamente necesario que los objetos sean capturados en varios fotogramas si lo que pretendemos es alcanzar la representación volumétrica de un ente, es obligado que estos manifiesten un área en la cual ambas imágenes contengan la misma porción de objeto (Cannarozzo, Cucchiarini y Meschieri, 2012).

Un recubrimiento alto es transcendental en la obtención de un modelo de alta calidad (McLean, 2016).

Este recubrimiento, que bien puede terminar derivado de la experiencia del operador de cámara, puede consensuarse con un factor de origen matemático y que recibe el nombre de  $\mu$ . Un aspecto determinante es el valor que recibe la base de captura ( $B$ ) pues a mayor base se considera más destacable la necesidad de recubrimiento (figura 040) entre fotografías y esto redundará en una mayor precisión y modelo generado con el “sobre-coste” de una mayor necesidad y rendimiento del equipo informático que procesa esa información gráfica.

Según lo descrito por Cannarozzo, Cucchiarini y Meschieri,  $B$ , puede definirse como:

$$B=L-\mu \times L=L(1-\mu)$$

Siendo:

$$L=1(A/p)$$

Tendremos:

$$B=(H \times l)/p \times (1-\mu)=l \times E_f \times (1-\mu)$$

Por norma general, se considera como óptimo el recubrimiento de en torno al 60% entre imágenes contiguas / consecutivas y sea en torno a eje horizontal o vertical.

Concluyendo que la base de captura es equitativa a las dimensiones del formato de la cámara y a la separación del objetivo al modelo.

### 3.2. ETAPA 02: TRABAJO DE CAMPO

El registro gráfico dentro del levantamiento procede a un proceso que despliega dos fases específicas, determinadas y claras. La primera de ellas es la que comporta la toma de datos. Esta es desarrollada (figura 041) y ejecutada en el entorno de aquel bien patrimonial a estudiar o directamente sobrellevada a este pudiendo, en todo caso, presentarse diferentes programaciones o metodologías.

En segunda instancia, con el trabajo de gabinete, se vierten y transforman los datos recogidos in-situ para alcanzar la documentación gráfica definitiva. La primera fase, de acuerdo con la inmensa mayoría de los procedimientos, es en la que se realiza la medición del bien patrimonial con la confección de croquis previos, sin escala, y, en ellos, se esbozan las cotas. Sin embargo, cuando empleamos la fotogrametría digital, sólo una mínima parte de las mediciones se realizan en campo ejecutando la mayor parte de estas en despacho/estudio reduciendo así, drásticamente, la duración del trabajo de campo.



Figura 041. Acondicionado de paño de muralla previo a la elaboración de croquis por metodología arqueológica tradicional. Yacimiento arqueológico de Bolvax en Cieza, Murcia. Fuente: Autor.

Teniendo claro que la fotogrametría digital instaure un sistema efectivo, no



Figura 042. Detalle tridimensional fotogramétrico de grabado en muralla Republicana Romana de opus caementicium. Yacimiento arqueológico de Bolvax en Cieza, Murcia. Fuente: Autor.

tanto por su exactitud sino por las facilidades que procura en la toma de datos, dentro de las tareas de conservación y divulgación del patrimonio, se nos plantea la necesidad de, en esta primera etapa de trabajo, contar con la mínima cantidad de utensilios de registro y revisión para orientar el modelo, a disponer de una cantidad mínima de medidas de distancia (dos o tres serían suficientes), a contar con una sucesión minúscula de reseñas tomadas en el propio objeto (un plano/línea vertical u horizontal) para definir los ejes del sistema de proyección y que, de forma simplificada, a través de instrumentación económica y un equipo de medición de fácil transporte, se consiga un excelente levantamiento gráfico que nos admita alcanzar la realidad geométrica del patrimonio (figura 042).

El alcance de la fotogrametría digital en un levantamiento gráfico tiene dos fracciones tremendamente específicas que, a su vez, están íntimamente conectadas.

La primera parte, de toma fotográfica y, la segunda, de desarrollo del levantamiento con el software específico. Por tanto, y según la experiencia, los principales pasos para un adecuado proyecto fotográfico son:

- Reconocer visualmente el entorno sobre el que se actúa (figura 043).

- Esbozar un croquis general que atestigüe su orientación, efectuar la toma de medidas principales y, así mismo, dejar constancia de las peculiaridades o dificultades de estación o captura derivadas del entorno, mobiliario o vegetación que lo rodea.
- Precisar las características de la cámara a emplear de acuerdo con valores previamente calibrados o, en caso de necesidad inadvertida, ajustarlos a los más propicios, anotando desde lo más general a lo más particular de lo ejecutado (desde el modelo de cámara y/u objetivo utilizado a características de las tomas).
- Limpiar y retirar (si es posible y siempre guardando el respeto por el entorno o las peculiaridades del bien sobre el que trabajamos) los equipos o utensilios, propios o ajenos, que puedan ocasionar deformaciones, problemas o dificultades en pasos posteriores.
- Efectuar las fotografías en torno al bien patrimonial de manera metódica atendiendo a los criterios de trabajo particulares, que se establecerán en el capítulo 4 de la presente tesis, e ir anotando en el croquis la posición aproximada de las cámaras para, posteriormente, en el trabajo de la fase de gabinete, contrastar las posiciones dadas por el software con las que



hemos reseñado en nuestro trabajo de campo.

- Revisar todo el proceso realizado antes de abandonar la zona pues lo no contenido en las fotografías no aparecerá después en el modelo tridimensional.

### 3.2.1. Análisis previo: estudio del lugar

Como se ha ido evidenciando, es ineludible tener en cuenta numerosas variaciones a la hora de formalizar la toma de imágenes con la que lograr un buen levantamiento fotogramétrico.

En este capítulo se presenta una de las partes fundamentales de las etapas de trabajo (etapa 02) que estamos desarrollando y, sin la cual, es improbable ejecutar un adecuado proceso de levantamiento por fotogrametría digital. Aunque en determinadas circunstancias la fotogrametría puede parecer sencilla, debido, en parte, a su aparente automatismo, únicamente se puede atestiguar que se ha

Figura 043. Análisis del entorno de trabajo previo a la elección de las estaciones fotográficas para el levantamiento fotogramétrico. Yacimiento arqueológico de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



alcanzado un buen modelo tridimensional si anteriormente hemos perpetrado una correcta captura de imágenes donde esta, únicamente, se puede abordar si dominamos perfectamente el bien a documentar.

Dentro del análisis previo se hace pues necesario referir algunas de las consideraciones que el investigador debe tener presentes antes de abordar un levantamiento de este tipo.

Con el propósito final de conseguir “mecanizar” y “atender” la totalidad de cuestiones que pueden surgir dentro de este estudio preliminar se despliegan una serie de auto consultas de sostén. Estas son, para el análisis del entorno:

- ¿A qué hora/horas se tendrá la mejor iluminación natural?.
- ¿Es imprescindible tener en cuenta, por su ubicación o carácter monumental, si la zona será transitada?.
- En caso afirmativo ¿Cuál es el período de menor circulación? ¿Puedo prohibir el tráfico? ¿Este será rodado, peatonal o ambos?.
- ¿Hay obstáculos que dificulten el adecuado campo de visión?.
- En caso afirmativo, ¿puedo sortear estas trabas rodeándolas y/o aumentando el número de fotos? ¿Si no, puedo eliminar esos obstáculos?.
- Las estaciones en torno al elemento a estudiar ¿pueden realizarse sobre medios estables como trípodes o sólo pueden realizarse “a mano”?.

Si nos disponemos a realizar el levantamiento fotogramétrico de objetos patrimoniales de diversa naturaleza, nos percataremos rápidamente de la necesidad de bosquejar estrategias diferentes (figura 044 y 045) para cada caso pues, no es lo mismo documentar una estructura mozárabe, que un abrigo neolítico o una escultura romana.

Será, así, inevitable estar al tanto de dónde se desarrollará el trabajo fotográfico y, con ello, determinar y conocer correctamente cada una de las peculiaridades del objeto de trabajo y/ o su entorno. Yendo más lejos podemos admitir que disfrutaremos de una iluminación indiscutiblemente diferente en la sala que albergue a la escultura, que en el yacimiento arqueológico o en el abrigo rocoso donde, la luz, y como se demostrará en los supuestos prácticos recogidos en la tesis, es uno de los integrantes más importantes para garantizar un correcto levantamiento fotogramétrico, por lo que se aspira alcanzar que ésta siempre sea clara y difusa y

sin acusados contrastes de luces y sombras.

Por todo esto, no podremos recurrir al flash; intentaremos ejecutar el desarrollo fotográfico de un proyecto a primera hora de la mañana, última de la tarde y/o momentos después de una lluvia (pues, el ambiente, estará, entre otras cosas, más limpio de impurezas/partículas volátiles) (Cueli, 2011); y, en lugares sin ilu-

Figura 044. Metodología de captura fotográfica en función de los condicionantes del entorno. Levantamiento en exteriores, con luz natural y sin posibilidad de hacer uso de trípode, Castillo de Santa Catalina del Monte, o del Verdolay, o de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 045. Metodología de captura fotográfica en función de los condicionantes del entorno. Levantamiento en interior con iluminación artificial controlada y cámara sobre trípode, Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia (COATIEMU), Murcia. Fuente: Autor.



minación natural, nos habremos de abastecer con técnicas más propias de la fotografía de estudio para conseguir una adecuada y suficiente luminosidad. A la par de comprometido es el sol que, en múltiples ocasiones (y más en el entorno en el que nos encontramos), castiga las excavaciones y/o “quemada” las estructuras que pretendemos geometrizar.

La luz (figura 046), así como el formato del objeto, la flora que lo envuelva (o simplemente invada u ocupe), etc., son varios de los factores que se deben considerar al realizar las tomas fotográficas pues condicionan las cualidades y características finales del modelo tridimensional obtenido. Asimismo, es indispensable saber que la fotogrametría no es una técnica milagrosa con la que se logra alcanzar cualquier fin: en diversos momentos nos toparemos con numerosos problemas que, en definitiva, nos impedirán consumir un buen modelo fotogramétrico



Figura 046. Condiciones lumínicas adversas (fotografía a contraluz) para un correcto levantamiento fotogramétrico en exteriores. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

y, muy posiblemente, requieran apelar a terceras técnicas de dibujo arqueológico tradicional, láser escáner, etc.

### 3.2.2. Documentación de apoyo

Conocer aquello a documentar implica, además del registro propio del bien:

Figura 047. Vista 360° de la Plaza Cardenal Belluga, Murcia. Fuente: Autor.



- Investigar u observar, presencial o virtualmente y gracias a las posibilidades panorámicas a nivel de calle de 360° de movimiento horizontal y 290° en vertical, las inconveniencias que puedan surgir antes del proyecto de estacionamiento de cámaras en torno al edificio/área arqueológica/objeto (figura 047).
- Estudiar histórica-arqueológica y/o histórica-artística el bien a documentar.

La observación del objeto que aspiramos documentar es indispensable si necesitamos efectuar un eficiente modelo (figura 048). Esta realidad es cada vez más ambigua gracias a las posibilidades de los software actuales que admiten recrear levantamientos (figura 049) con imágenes de cámaras muy dispares (figura 050), sin calibrar e, incluso, realizadas en períodos de tiempo diferentes (ejemplo claro de esto es REKREI 2017, formalmente conocido como Proyecto Mosul<sup>25</sup>).

Este hecho nos permite recapacitar sobre las posibilidades de la fotogrametría como herramienta para recuperar datos geométricos de bienes que han desapa-

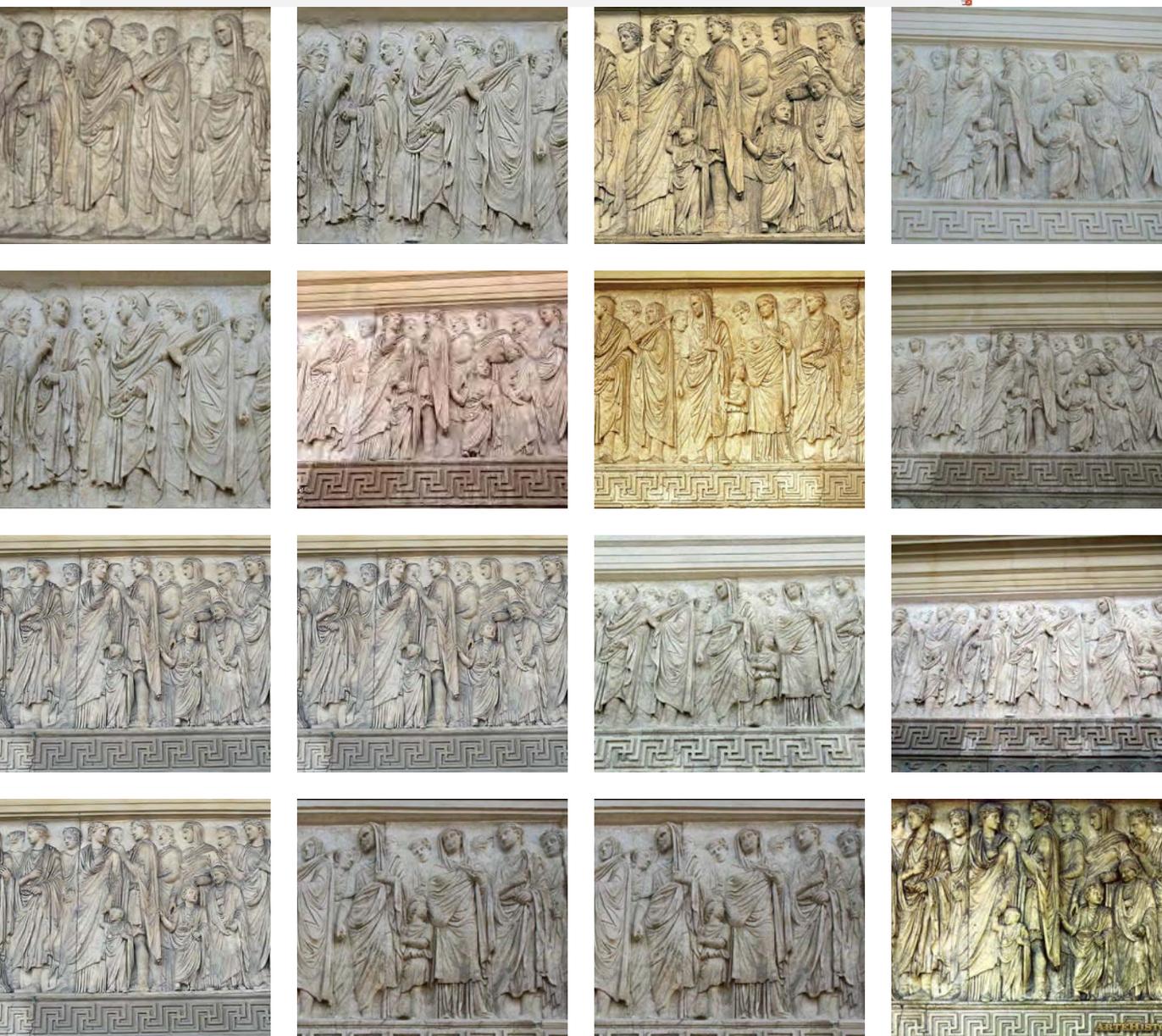
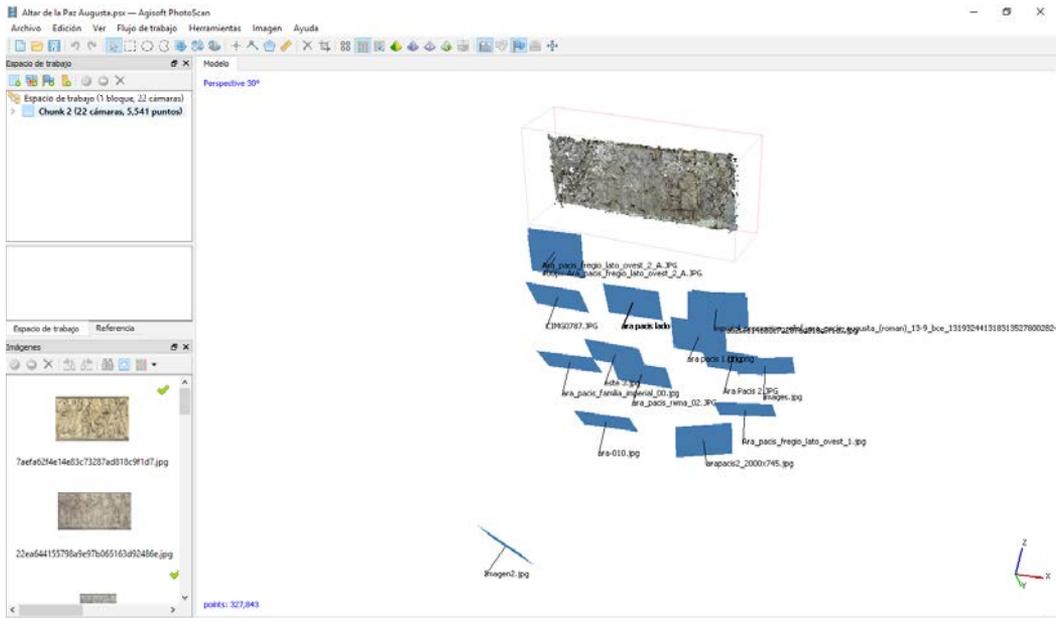


Figura 048 (superior). Recuperación de datos geométricos a partir de información gráfica recopilada en la red. Altar de la Paz Augusta, Roma (Italia). Fuente: Autor.

Figura 049 (superior derecha). Espacio de trabajo en Agisoft PhotoScan para levantamiento fotogramétrico de imágenes seleccionadas en la red del Altar de la Paz Augusta, Roma (Italia). Fuente: Autor.

Figura 050 (inferior derecha). Collage de fotografías seleccionadas para levantamiento del Altar de la Paz Augusta, Roma (Italia). Fuente: Autor.

<sup>25</sup> Mediante la integración de nuestros conocimientos en arqueología, desarrollo web, y la fotogrametría, nuestro objetivo es promover la preservación digital del patrimonio cultural perdido el uso de datos crowdsourced en un proyecto de cooperación, de código abierto [<https://rekrei.org/>].



recido o destruido a lo largo del tiempo o por obra humana. Es comprensible que, no alcanzaremos levantamientos de calidad de aquello que no hemos fotografiado metódicamente pero, en determinados casos, alcanzaremos a dar deducciones o

Figura 051 (superior izquierda). Panorámica interior con iluminación cercana y potente en zona de bóveda. Monasterio de los Jerónimos, Guadalupe (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 052 (superior derecha). Perspectiva tridimensional por fotogrametría donde se aprecia desfigurada la parte “quemada” de la imagen más próxima a los puntos de luz. Fuente: Autor.



resultados con el estudio y análisis de imágenes de archivo con las que recuperar información tridimensional que pueda estar escondida en ellas (Angulo, 2013).

Además, atendiendo a lo mencionado, a través de la inspección del bien a

Figura 053 (inferior izquierda). Vehículo estacionado dificultando la toma fotográfica, Iglesia de Santa María del Castillo de Cervera de Pisuerga, Palencia. Fuente: Autor.

Figura 054 (inferior derecha). Ortofotografía generada por fotogrametría, corrección de obstáculos por máscaras. Fuente: Autor.



pie de campo tendremos capacidad para determinar aquellas incompatibilidades o dificultades con las que podremos toparnos a la hora de realizar el trabajo, tales como las dimensiones del objeto, iluminación de la zona (figuras 051 y 052), accesibilidad, confluencia de gente, tráfico (figuras 053 y 054), etc.

De otro lado, y según lo especificado por el segundo apartado de este capítulo y atendiendo a los Principios de Sevilla<sup>26</sup>, es de especial importancia establecer una rigurosidad histórica en todo aquello que contemple la intención de generar modelos tridimensionales de bienes patrimoniales pues ejecutaremos el encargo como investigadores, no como diseñadores, y por ello debemos tener en cuenta la responsabilidad que supone constituir una representación tridimensional mostrando fielmente el objeto original.:

“La rigurosidad histórica de cualquier visualización asistida por ordenador del pasado dependerá tanto de la rigurosidad con la que se haya realizado la investigación arqueológica previa como de la rigurosidad con la que se use esa información para la creación del modelo virtual<sup>27</sup>.”

La “grandiosidad” de las representaciones 3D generadas con esta técnica, aunque fascinantes, deben considerarse, generarse y documentarse atendiendo a las necesidades del proyecto o intervención para las que fueron concebidas permitiéndonos alcanzar una mejor geometría del objeto y, de esta forma, recrear una mejor fotogrametría.

### 3.2.3. Criterios de reproducción y valoración: Recogida de datos

Esta esencial fase de toma de datos, además, envuelve una etapa de conocimiento dimensional de aquello sobre lo que se pretende trabajar, por esto, la determinación de cotas, la toma de medidas de referencia o la localización de coordenadas, entre otras, es general y preferentemente desarrollada con ayuda de instrumentación topográfica tradicional como estaciones totales, equipos GPS y/o taquímetros o niveles de precisión.

---

<sup>26</sup> Principios Internacionales de Arqueología Virtual [<http://smartheritage.com/wp-content/uploads/2016/06/PRINCIPIOS-DE-SEVILLA.pdf>].

<sup>27</sup> Principio de Sevilla, 2012, p. 17.

Esta información “extra”, captada en campo, se utiliza para tareas posteriores, llevadas a cabo en gabinete, con la intención de georreferenciar un modelo tridimensional, escalarlo o, directamente, emparejarlo con otros modelos previos generados en trabajos anteriores. Se debe tener por tanto, y dado el carácter profesional, investigador y divulgativo intrínseco a esto, que este rigor en la toma de datos es el justificante que avala, finalmente, investigaciones históricas propias o ajenas efectuadas en el futuro.

La recogida de datos, entonces, siempre debe estar de la mano con la finalidad de nuestro modelo fotogramétrico y, tal y como se recoge en los Principios de Sevilla:

“Previamente a la elaboración de cualquier visualización asistida por ordenador siempre debe quedar totalmente claro cuál es la finalidad última de nuestro trabajo, es decir, cual es el objetivo final que se persigue alcanzar. Consecuentemente, diferentes niveles de detalle, resolución y precisión pueden resultar necesarios<sup>28</sup>.”

Nos surgirán pues una serie de cuestiones (para qué, cómo, dónde, cuándo, etc.) que valdrán de núcleo a nuestro trabajo de aquí en adelante y donde, si tenemos claro cuál es el objetivo último del levantamiento, vamos a poder ser más eficaces a la hora de acometerlo reduciendo tiempos y costes. Así, entre otras, podremos efectuar preguntas como:

- ¿Cuál es el objetivo?.
- ¿Qué tipo de proyecto estamos realizando?.
- ¿Qué nivel de detalle se requiere?.
- ¿Con qué instrumentación contamos?.
- ¿Cuál de ella necesitaremos para trabajar?.
- ¿En cuántas fases de intervención participaremos?.

### 3.2.4. Correcta toma fotográfica

Ante la cantidad ingente de referencias y recomendaciones que, por otro lado, y dada la peculiaridad que cada trabajo de levantamiento del patrimonio plantea, se realiza una referencia consultora general, empleada en el desarrollo de

<sup>28</sup> Principios de Sevilla, 2012, p.15.

la tesis y que, metodológicamente, ha esgrimido un método. Este, que en realidad no es más que una adecuación de los sistemas clásicos de captura fotogramétrica a los que se les ha solicitado una aclaración, permite la obtención de modelos con nivel alto de detalle en los tres ejes del espacio sirviéndose de fotografías realizadas perpendicular y convergentemente al objeto a levantar (figura 055).

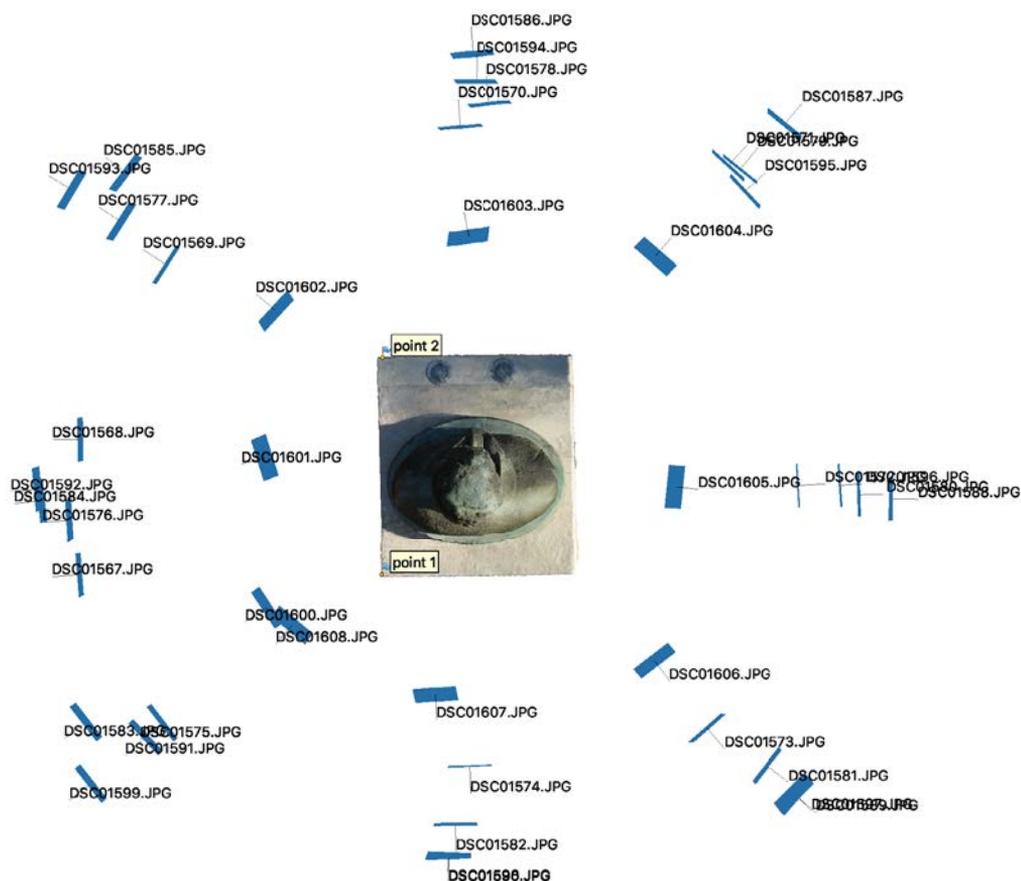


Figura 055. Fotografía convergente para el levantamiento gráfico de bienes exentos. Busto Antonio Campillo, Parque escultórico Antonio Campillo, Murcia. Fuente: Autor.

La fotogrametría digital, con la creación de algoritmos que solventan las situaciones de colinealidad y coplanaridad que aparecen durante la toma fotográfica y gracias a las novedosas técnicas de correlación de imágenes que identifican ingentes cantidades de puntos homólogos de forma automática, aún presenta la necesidad de realizar las capturas atendiendo a una serie de recomendaciones:

- Una misma porción del objeto debe presentarse en, al menos, dos foto-

gráficas aunque siempre es recomendable que sea en tres o más. Se debe realizar estación de forma que, en ambos ejes de desplazamiento (vertical y horizontal) se sostenga el 50-70% de solape o recubrimiento óptimo.

- Cada toma se realizará a una distancia del objeto adecuada (figura 056) y acorde con la finalidad del levantamiento y las necesidades del trabajo. Cuando estamos desarrollando el reportaje fotográfico paralelo, con el que conseguiremos una nube de puntos muy densa en el ámbito frontal, intentaremos mantener la misma separación en todo el recorrido; mientras que, cuando desplegamos una toma fotográfica en arco en torno a un eje de giro (y siempre apuntando a este) lograremos determinar con mayor exactitud y definición las profundidades del modelo resultante y cuando trabajemos sobre interiores o elementos exentos prestaremos especial atención en realizar las fotografías girando alrededor/en torno al

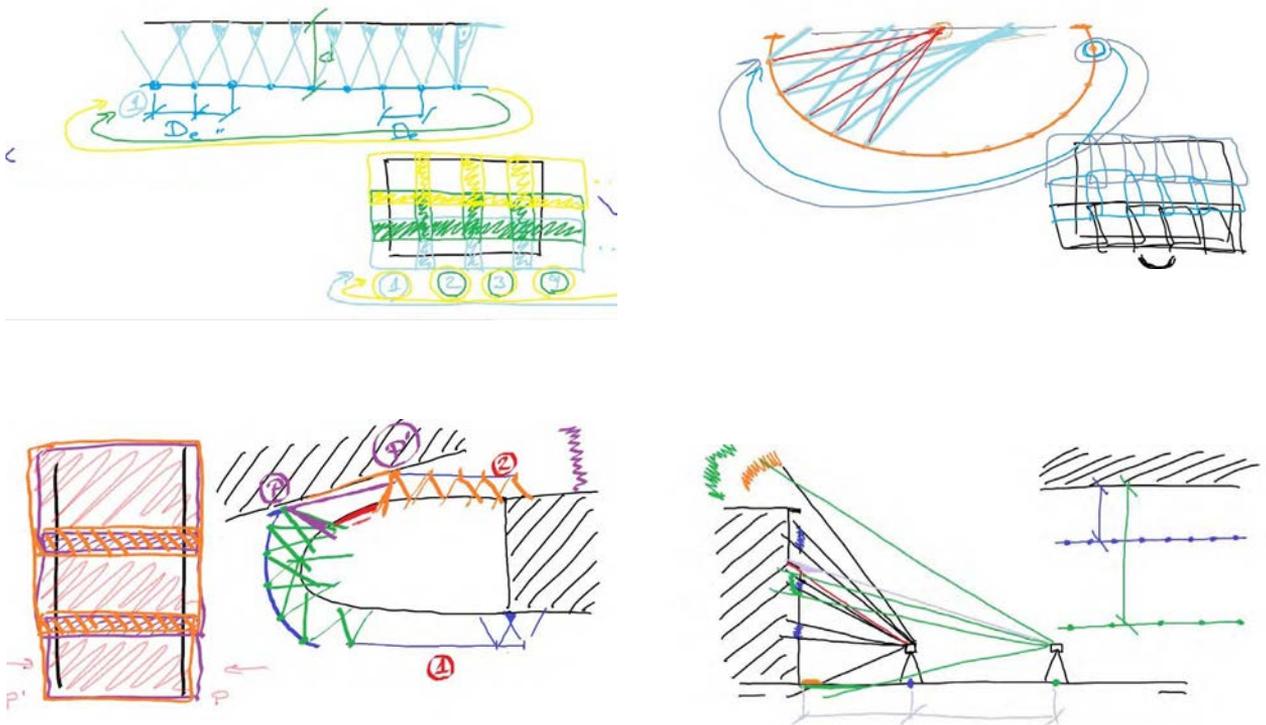


Figura 056. Collage de croquis de trabajo de campo. Aproximación a las zonas de estacionado para captura fotográfica y determinación de solapes verticales y/u horizontales. Fuente: Autor.

objeto disparando a lo más cercano o lo más distante respectivamente. Además, y dentro de esta metodología, podremos decidir si estacionar conformando una pieza cuadrada/prismática o circular atendiendo a las peculiaridades del levantamiento fotogramétrico.

- Evitaremos dejar al modelo de zonas “oscuras” concebidas por la falta de documentación gráfica por despistes o mala planificación de las tomas fotográficas.

- Al tratar con elementos tridimensionales, y dado que es esta también la

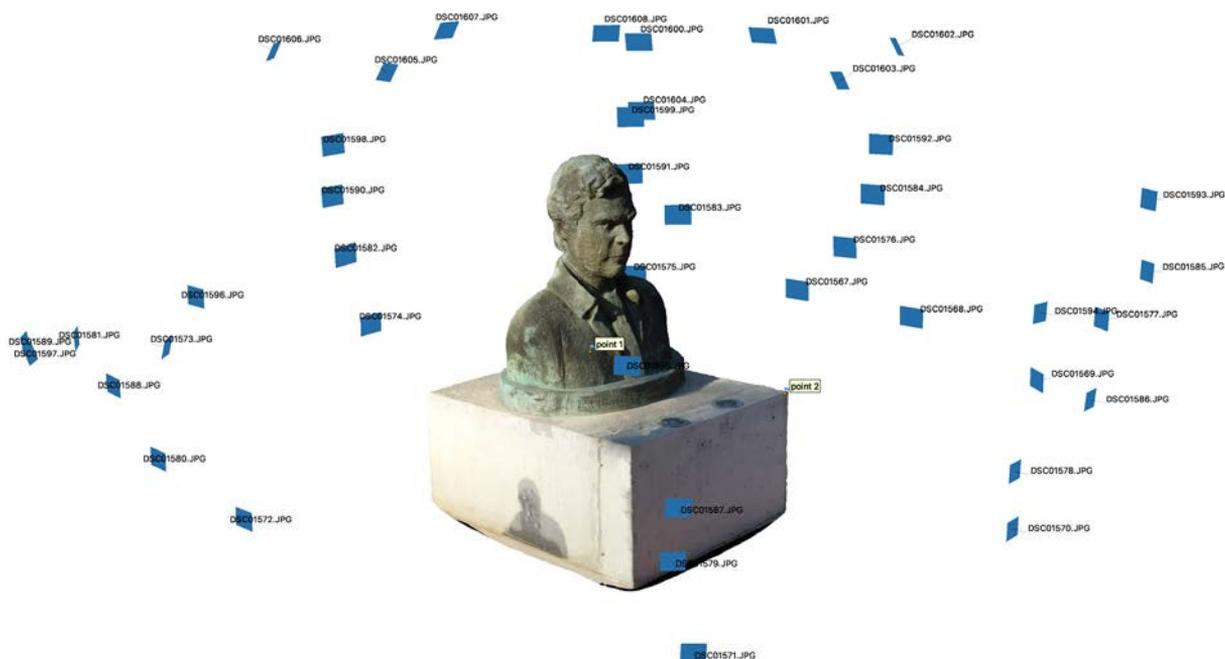


Figura 057. Fotografía convergente para el levantamiento gráfico de bienes exentos en altura. Busto Antonio Campillo, Parque escultórico Antonio Campillo, Murcia. Fuente: Autor.

finalidad de aquello que pretendemos generar, debemos tener en cuenta que la línea de imágenes deberá presentar varias alturas (figura 057).

- En la medida de lo posible evitaremos realizar fotografías desde la misma estación minimizando así la aparición de aberraciones en el modelo.

Esta estructura, relaciona el trabajo con una ejecución y planificación metódica y definida para el proceso de documentación en cualquiera de las fases de intervención sobre el patrimonio:

- Producción de un croquis que nos permita situarnos y planificar una buena ruta de trabajo.
- Elaboración de un proyecto de estacionamiento de cámaras.
- Disposición, en caso necesario, de dianas o targets artificiales que faciliten, derivado de la complejidad del modelo, el trabajo posterior en gabinete. Estas pueden estar perfectamente distribuidas en torno a todo el objeto y/o en mayor proporción en la zona que convengamos más conflictiva.
- Comprobar que no existen zonas que puedan quedar sin representación a lo largo del recorrido planificado, ya sea, directamente, por falta de imágenes que lo muestren o por una mala distribución de los solapes.
- Determinar la correcta o mejor relación de distancias entre sí de los puntos de estación y de los puntos de estación al objeto. La distancia entre cada imagen debe guardar la relación base/altura del 10% al 20%. Cuando se habla de base se hace alusión a los lugares de toma fotográfica y, de altura, a la separación entre cada imagen y el objeto a documentar. Con esto adoptamos la considerada ordenación básica de un estereopar<sup>29</sup>, que es la componente primera en estrategia de captura en fotogrametría digital.
- Realización de tomas fotográficas atendiendo a que no se deberá usar flash pues la iluminación debe ser la misma en todas las fotografías; es necesario realizar desplazamientos, no giros de cámara, pues en ese caso no se generará un adecuado modelo; el estereopar es necesario verificarlo en cada estación; Es recomendable que el reportaje fotográfico sea por exceso que no por defecto y fundamental la correcta y adecuada elección de franja horaria y similitud entre ellas en los casos en los que la toma fotográfica no pudiera ejecutarse en una única jornada.

Tal y como se ha especificado al comienzo de este apartado, aquí queda plasmado (figura 058) el procedimiento con el que se han desarrollado el medio centenar de modelos resultantes de la investigación y que, dados los avances fotogramétricos de los últimos años, sobre todo en cuanto a software y posibilidad de transportar un proyecto exportándolo de un programa específico a otro hasta alcanzar el resultado deseado, la resolución de la documentación gráfica podrá

---

<sup>29</sup> Son dos fotografías separadas entre sí una distancia proporcional a la distancia entre ellas y el objeto.

¿Qué tipo de geometría presenta?

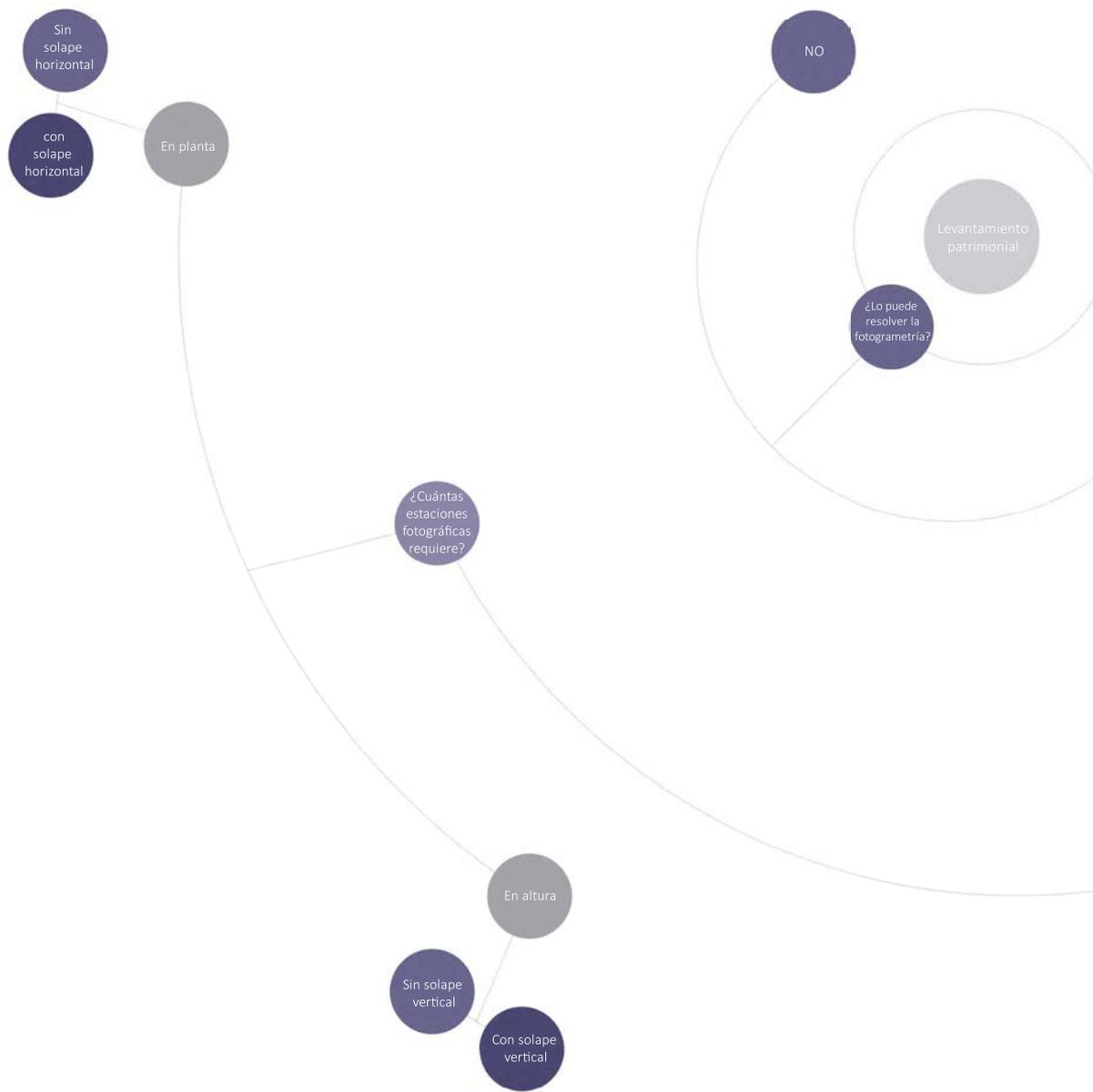




Figura 058. Itinerario de consulta para el trabajo fotogramétrico. Fuente: Autor.

desarrollarse empleando diferentes soluciones aptas.

Aun así, y realizadas las experiencias, estas conducen a recoger más fotografías de las necesarias, generar proyectos muy pesados, necesidad de recurrir a procesadores informáticos de gran capacidad, deformaciones innecesarias en los modelos por falta de escrupulosidad en las tomas fotográficas, etc.

Podríamos concluir que, en la fase de trabajo de campo, es fundamental no dejar de lado el necesario y correcto análisis previo del objeto; de su entorno; la anexa planificación croquizada; el registro de prescripciones de la cámara con las que se han realizado las fotografías y el obligatorio seguimiento de las normas de captura en lo referente a distancias y solapes (figura 059).

### 3.3. ETAPA 03: TRABAJO DE GABINETE

En esta etapa de trabajo, la información gráfica, fotográfica y documental recabada, con la que podremos reconstruir el bien o el entorno a inventariar, proporcionará, entre otras cosas, una mejora en los rendimientos de trabajo y redac-

Figura 059. Relación de estaciones: Distancias entre bases de captura fotográfica y entre estas y el objeto. Relación base/altura. Fachada noreste del Monasterio de Los Jerónimos, Guadalupe (Murcia). Fuente: Autor.



ción de proyecto, servirá de sustento al control evolutivo de los bienes durante las fases inicial, intermedia y final del trabajo, acompañará en las tareas de trabajo de campo, permitirá conocer el bien a fondo recreando su historia y extendiendo sus posibilidades de difusión de cara a un mejor reconocimiento y valorización social.

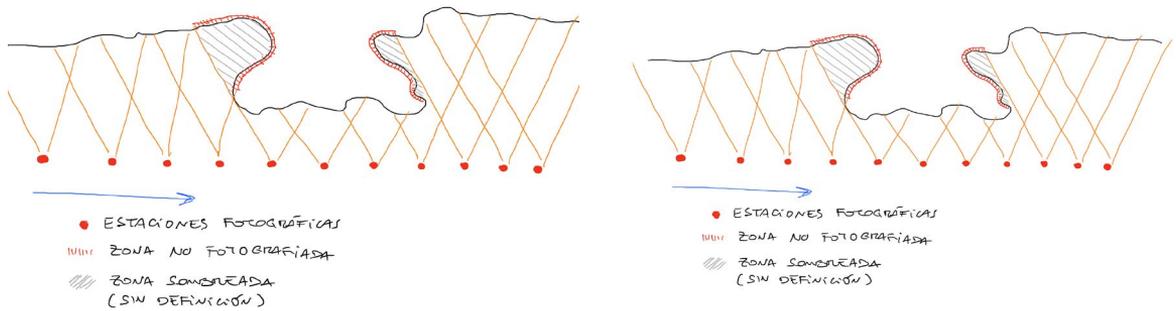


Figura 060 (izquierda) y figura 061 (derecha). Inadecuada consecución fotográfica. Fuente: Autor.

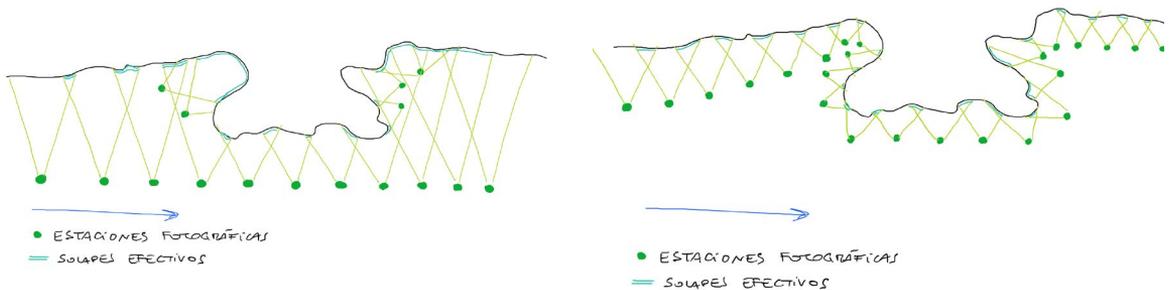


Figura 062 (izquierda) y figura 063 (derecha). Adecuada consecución fotográfica. Fuente: Autor.

Antes de la implantación más generalizada de trabajos relativos a la fotogrametría aplicada al patrimonio se venía usando como software para la rectificación de imágenes el desarrollado por Steve Nickerson y llamado ASRix (figuras 064 y 065). Esta aplicación constituía fotoplanos de superficies planas (alzados, pavimentos, etc.) y, por su sencillez en uso, simbiosis con el entorno CAD y posibilidades de uso en un espacio pseudotridimensional, llegó a convertirse casi en un estándar.

A las razones anteriormente citadas y sumando la reducción notable del



Figura 064 (izquierda) y figura 065 (derecha). Rectificación fotográfica por ASRix. Imágenes en alzado y perspectiva dentro de CAD de izquierda a derecha respectivamente. Restauración del Baluarte hacia la Torre de la Vela en la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

trabajo, de costes y de tiempo y el uso mínimo de instrumentos en campo es ya una realidad en torno a los sistemas fotogramétricos “portátiles” que conseguimos con software como Photoscan, susceptible de ser transportado y utilizado a “cualquier sitio”.

En esta fase de trabajo de archivo, los datos recabados en campo, se procesarán para su análisis mediante el programa informático escogido. Este, como hemos expuesto con anterioridad y desarrollaremos más adelante, admite erigir modelos 3D a partir de fotografías en escaso período de tiempo (figura 066). Estas fotografías, por su lado, necesitan ser captadas con ciertas particularidades de cara a que el programa pueda conectarlas y emparejarlas localizando automáticamente puntos comunes entre ellas.

### 3.3.1. Software fotogramétrico: Justificación

La digitalización documental e informativa es recabada, generalmente, con la intención de catálogo e inventario para, posteriormente, gestionarla y tratarla con un fin determinado, ya sea la digitalización para conseguir una mejora sustancial en el manejo de información, su posterior difusión u otras razones que, en todo caso, tienen que ver con la conservación y protección del bien patrimonial estudiado.

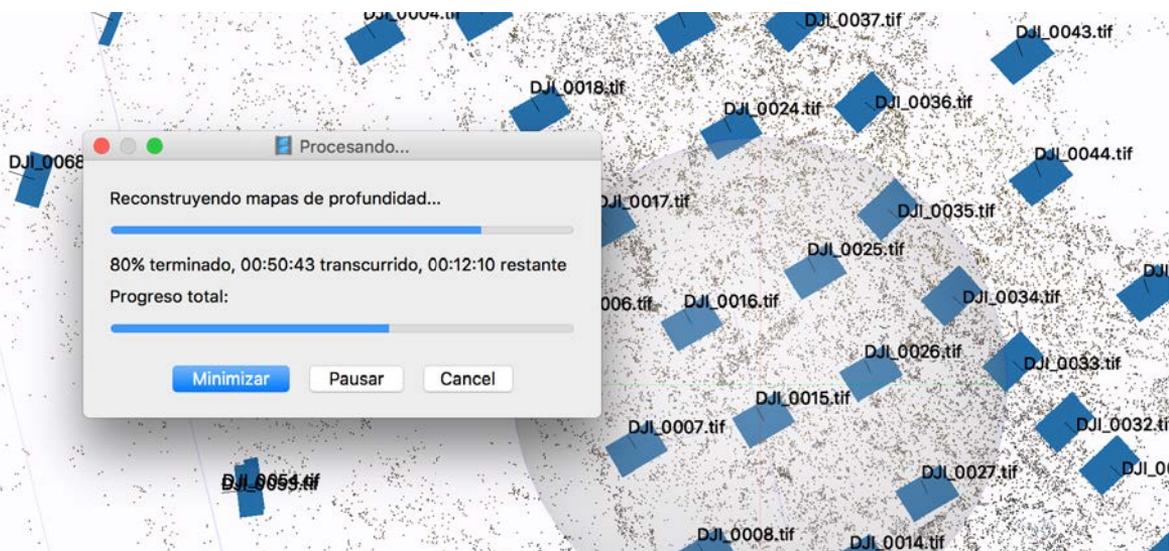
### 3.3.1.1. Generalidades

Cuando hablamos de fotogrametría de objeto cercano se nos abre un enorme abanico de programas informáticos image based que, de manera computarizada y automática, convierten la proyección central de las imágenes en una ortogonal. Al calcular la colocación de cada una de las tomas en relación a las otras, el software, sitúa de forma mecánica una consecución de puntos sobre las imágenes sirviéndose de la divergencia de contraste entre píxeles y que determinan los atributos particulares del elemento a restituir para, después, escrutar las correspondencias de puntos homólogos con el resto de figuras, permitiendo por intersección de vistas de rayos, determinar la ubicación exacta desde donde se realizaron las tomas fotográficas.

Podemos, por tanto, concluir obteniendo, tras dicha alineación, la disposición y dirección de cada una de las cámaras utilizadas y una nube de puntos del modelo. En función del prototipo de programa utilizado, se podrá obtener la geometría en diferentes grados de precisión y definición, la malla del modelo y la adhesión gráfica final que dotará al mismo de acabado texturizado fotorrealístico.

Entre los software comerciales más populares encontramos: Open MVG, Photomodeler, Drone2Map, Autodesk Remake, VisualSFM, PMVS2, 123D Catch, pix4D, 3DF Zephyr Pro y Photoscan. De entre ellos, se destaca Photomodeler y Photoscan, que, por sus consolidados programas informáticos, su continua actualización pero, siempre, manteniendo el esquema general de trabajo intacto, su pla-

Figura 066. Ejemplo de ventana emergente con información temporal dentro del proceso fotogramétrico con Agisoft Photoscan. Fuente: Autor.



taforma de conversación y foros profesionales y amateurs de trabajo, así como su posibilidad de trabajo en multiplataforma (caso de PhotoScan) nos han llevado a su estudio (tabla 008) y elección de uno de ellos para el desarrollo de la tesis.

Programa	Licencia	Plataforma	Nube de puntos	Distribución			Precisión alcanzada
				Calidad	Sistema	Malla	
Open MVG	Software libre	Windows OSX Linux	Dispersa	Mala	Automática	Si	Baja
Photomodeler	Desde 3500 € (en función del paquete comprado)	Windows	Densa	Mala Excelente	Automática Manual	Si	Alta
Dron2Map	1500 €	Windows	Semidensa	Media	Automática	Si	Media
Remake	300 €/año	Windows OSX (retirado en abril 2017)	Densa	Buena	Automática	Si	Media
Visual SFM	Software libre	Windows OSX Linux	Dispersa	Mala	Automática	Si	Media
PMVS2	Software libre	Windows	Semidensa	Mala	Automática	Si	Baja

123D Catch	Software libre	Windows Android iOS Web	Semidensa	Media	Automática	Si	Media
Pix4D	260 €/mes	Windows	Densa	Buena	Automática	Si	Alta
	2600 €/año	OSX					
3DF Zephyr Pro	6500 € perpetua	Linux Web	Semidensa	Buena	Automática	Si	Alta
	4200 €	Windows					
Photoscan	179 € versión Standard	Windows OSX	Densa	Buena	Automática	Si	Alta
	3499 € versión profesional	Linux					

Tabla 008. Desglose de especificaciones de los principales software de trabajo fotogramétrico del mercado tras prueba real de uso. Fuente: Autor.

Tras una prueba real de uso con cada uno de los softwares arriba reseñados y atendiendo a la finalidad por la que se emplea esta técnica se llega a la conclusión de que los softwares más atractivos/útiles/fiables son PhotoScan y Photomodeler, por otra parte, líderes del mercado en la actualidad.

A continuación, se detallan las experiencias obtenidas para un uso continuado y real de ambos programas, terminando por justificar las razones que nos han llevado a escoger un programa y no otro. Las filas de la tabla 008 coloreadas nos enfatizan las cualidades de cada uno de ellos frente al resto de competidores.

### 3.3.1.2. Photomodeler versus Photoscan

El lanzamiento de los trabajos realizados con anterioridad al propósito de plasmar todas estas experiencias investigadoras en una tesis comenzó allá por

2007 donde, de entre las opciones de mercado, se inició con Photomodeler Scanner.

Su reputación, fiabilidad y producción de calidad (Remondino, Guarneri y Vettore, 2005) en los resultados obtenidos (por otra parte, ya considerablemente demostrados en anteriores estudios) y por ser uno de los primeros programas de restitución se convirtió en el camino a seguir. Al tratarse de un programa relativamente complejo en las primeras tomas de contacto y excesivamente lento y pesado todo el proceso de referenciado de imágenes para la obtención de las nubes de puntos una vez dominado.

Este software permite lograr una restitución de alta precisión a un alto coste temporal, de operación manual e insuficientes posibilidades de edición sobre los resultados, tanto de la nube como de las ecuaciones de mallado que emplea, con lo que, esa gran fidelidad de resultados se ve mermada por la poca calidad visual y de manipulación contribuyendo a un ineludible uso de otras aplicaciones de postprocesado.

Ante la necesidad continuada de soluciones más completas, ágiles y precisas, y tras muchos ensayos, se comienza a emplear una aplicación joven por aquel momento<sup>30</sup>, aún en desarrollo, pero con mucho potencial: Photoscan. Este programa, que proponía “hacer lo mismo” pero de forma computarizada y con una mínima intromisión por parte del usuario decantó al autor del presente documento a realizar un encuentro entre ambos software sobre el mismo modelo para, finalmente, analizar el resultado.

El ensayo se ha realizado sobre una tronera del cubo de defensa del pilar de Carlos V, junto a la Puerta de la Justicia de la Alhambra, en Granada (figuras 067 y 068).

Con la intención de, no sólo demostrar la decisión en torno a un ejemplo y/o resultado, se describen los procesos llevados a cabo en ambos software dejando patente cómo es de complejo un sistema frente al otro.

---

<sup>30</sup> Agisoft LLC, fundada en 2006: [<http://www.agisoft.com/about/>].

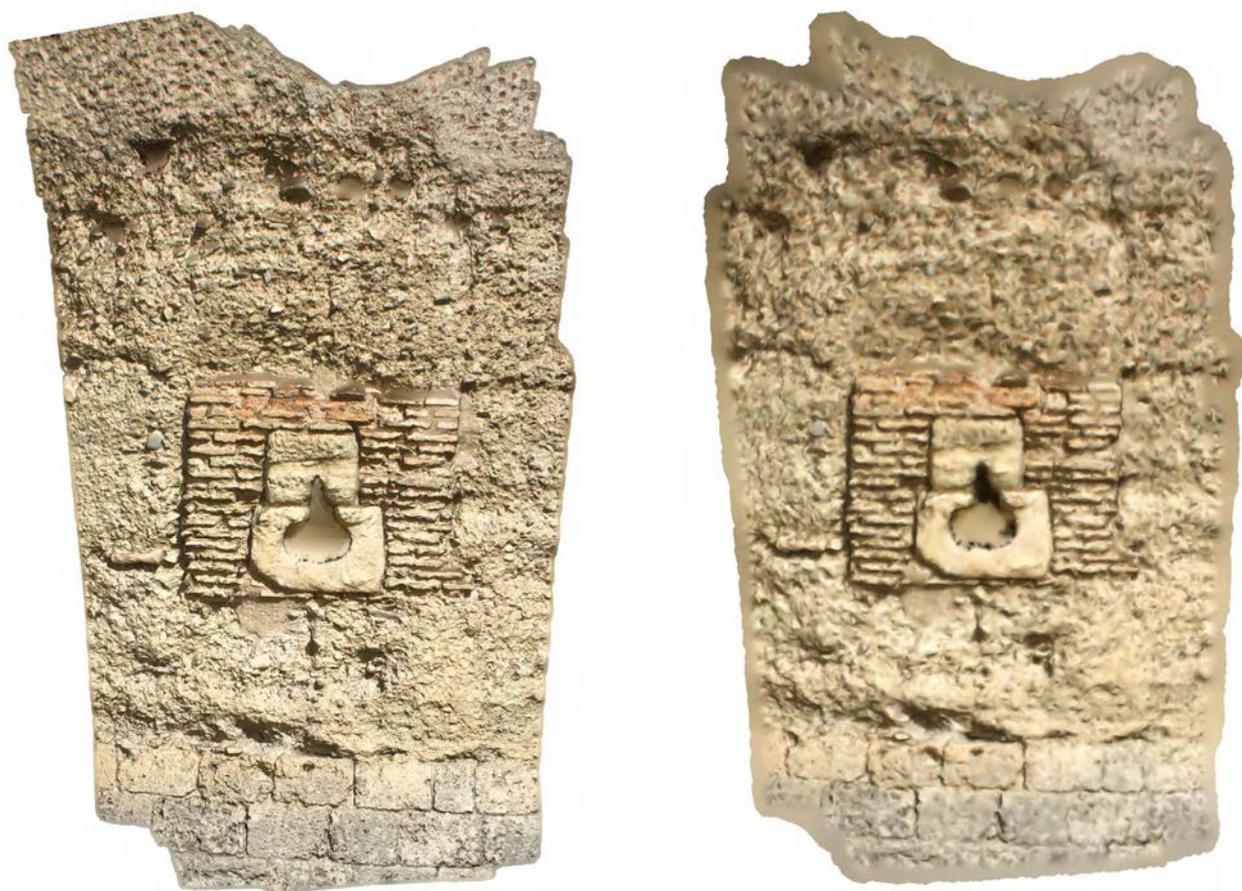


Figura 067 (izquierda) y figura 068 (derecha). Respectivamente: Modelo tridimensional fruto del trabajo fotogramétrico con Agisoft PhotoScan; Modelo tridimensional fruto del trabajo fotogramétrico con Photomodeler, Geomatic Studio y Rapidform. Fuente: Autor.

#### a. Descripción de procesos en Photomodeler

La complejidad y la necesidad vinculada a este software del trabajo pesado y manual, ya desde la primera fase de toma de datos en campo, determina el cómo realizar la captura de fotografías en cantidad y carácter para que, posteriormente, y en índices de tiempo y esfuerzo, se puedan alcanzar las necesidades vinculadas al proyecto en definición, exactitud y errores máximos admitidos.

Las fotografías se han realizado con el equipo de referencia especificado en el capítulo 3.2.1.1 apartado b, una Sony Nex-5 con objetivo Sony montura E 18 - 55 mm f/3.5 - 5.6 montada sobre un trípode de rótula y mástil y empleando



Figura 069. Proceso documental de una tronera del cubo de defensa del pilar de Carlos V, junto a la Puerta de la Justicia y toma fotogramétrica de la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

un disparador automático para realizar las fotografías. La cámara se ha sostenido en ISO 200 durante todo el trabajo de campo, con abertura de diafragma estable y velocidad de disparo 1/4 siempre en formato .raw.

El número final de fotografías de proyecto es de 16 que derivan en 8 pares verticales. La relación  $b/h$  ha marcado la separación vertical entre los pares siendo esta de 0,14. Como se ha expuesto en el capítulo 3.2.1,  $h$  es la distancia media desde las dos ubicaciones de la cámara al bien a levantar y  $b$  la distancia entre las dos situaciones de la cámara. Siguiendo esta técnica se garantiza una excelente correlación para el par estereoscópico.

En todas ellas se ha inmovilizado el anillo de enfoque de acuerdo con las especificaciones de la primera captura y prestado especial interés en que la distancia focal fuera constante.

No han sido colocadas dianas artificiales (ni propias ni externas al software) aprovechando así los targets naturales del propio elemento de estudio evitando así que este ítem pudiera modificar o afectar negativamente a un software frente al otro y garantizando que todas las fotografías presenten las mismas peculiaridades (figuras 069 y 070).

Figura 070 (derecha). Proceso documental de una tronera del cubo de defensa del pilar de Carlos V, junto a la Puerta de la Justicia y toma fotogramétrica de la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.



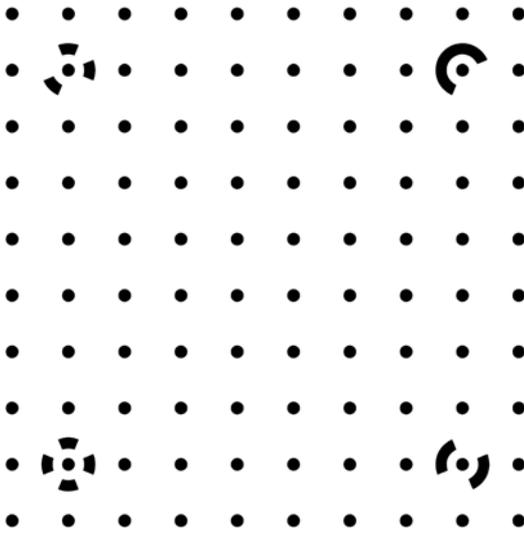


Figura 071. Plantilla de calibrado del fabricante de Photomodeler Scanner. Fuente: Photomodeler.

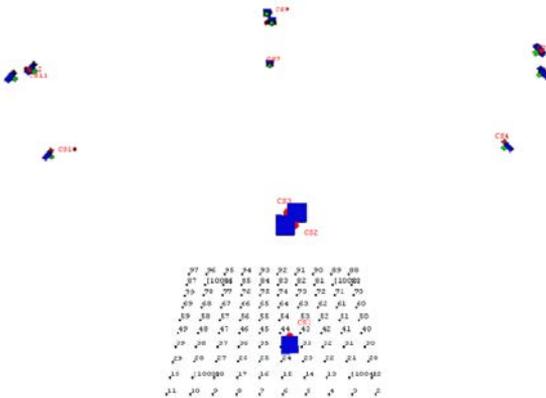


Figura 072. Localización y orientación de cámaras resultado de la calibración con Photomodeler. Fuente: Autor.

La captura fotográfica se ha efectuado en torno a un recorrido radial, enmarcando todos los detalles y asegurando tener fotografías cruzadas a 90°, para optimizar la rigurosidad de la alineación a la hora del referenciado de puntos.

Independientemente de la toma fotográfica, y ya dentro de la segunda fase de trabajo, en gabinete, es necesario un sistema de calibrado particular (y diferente del indicado en el capítulo 3.2.1.2 para PhotoScan. Con Photomodeler el proceso de complica y alarga. Es necesario obtener 12 fotografías realizadas sobre una plantilla (figura 071), a la que se hizo referencia con anterioridad, y que contiene cuatro puntos de control (dianas codificadas) y 140 puntos de apoyo (dots) que el software identifica permitiendo la adecuada orientación, localización y referenciado. Esta plantilla se debe imprimir en gran formato (generalmente A0 o A1) y apoyada perfectamente sobre una superficie plana e inmóvil (figura 072).

Las fotografías se deben realizar desde los cuatro bordes del papel (figura 073) y, en cada uno de ellos, se deben realizar tres tomas, una en vertical, otra horizontal y, la última, vertical pero con la cámara girada 180° en torno al eje cenital de la misma. Es necesario que todo el área de la plantilla quede reflejado en cada una

de las imágenes pues, de no ser así, el software nos derivará posteriores problemas e incongruencias. Este procedimiento se ha de realizar bloqueando el anillo de enfoque en la primera toma y asegurándonos que todas las imágenes posean las mismas características. Siguiendo este proceso, se han realizado dos calibraciones, una para la distancia focal de 18 mm.

Cuando arrancamos el proyecto debemos escoger la calibración de la distancia focal con la que se han realizado las fotografías, en este caso la de 18 mm. Esto induce a una sucesión de errores que debemos compensar por medio de un proceso llamado calibración inversa (Cueli, 2011), que se realiza una vez situadas 30 referencias sobre proyecto intentado en todo momento que quede recubierta la mayor superficie posible de las fotografías y manteniendo el error residual en torno a 0,5 píxeles y con un valor máximo por debajo de 1 píxel, consiguiendo así la calibración más adecuada. Es recomendable tener en cuenta que Photomodeler evalúa el error en torno del tamaño del píxel donde este mutará en función de la dimensión que revista el píxel.

Ya dentro del software, y con carácter esquemático, se retratan los pasos necesarios con la intención de calcular y conseguir una nube de puntos sobre la que generar una malla que nos sirva de base comparativa.

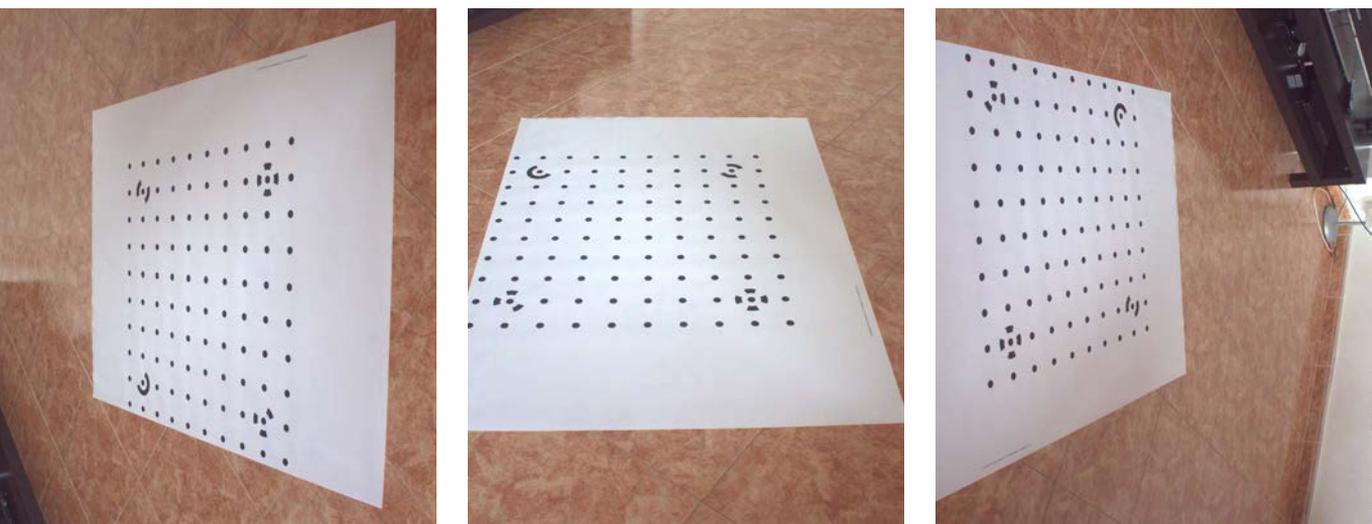


Figura 073. Collage con muestra de proceso de calibrado por el método de Photomodeler. Cámaras vertical cabeceada a izquierda, horizontal y vertical cabeceada a derecha. Fuente: Autor.

Tras referenciar 32 puntos homólogos (realizando especial hincapié en el área a desarrollar y, a continuación, en puntos de control que concreten la geometría del modelo) distribuidos imparcialmente por las 16 fotografías se alcanza un error medio de 0,139 píxeles y un residual, después de idealizar el proyecto, de 0,219 píxeles.

Llegado del momento de calcular la nube de puntos (figura 074) se escogen, de las composiciones viables, sólo los pares que cumplan:

- El ángulo comprendido entre el eje imaginario de cada par fotográfico hacia el centro del elemento a restituir sea  $< 30^\circ$ .
- Se escojan aquellos, cuyo valor más adecuado es 0,14 y que mantengan una relación  $0,1 \leq b / h \leq 0,5$ .

Dado que, por la proximidad entre las diferentes posiciones de las fotografías realizadas y debido a la existencia de pares, diagonales y horizontales, que cumplan con los contextos especificados y podrían usarse para generar la nube, se hace necesario (atendiendo a la complejidad de uso del software y la ocupación manual que alargaría sustancialmente el tiempo de trabajo en gabinete) limitar en número los pares. Se termina pues, eligiendo 8 pares distribuidos radialmente que ofrecen un resultado final de 1.185.551 de puntos.

El generado de la malla, con posibilidad de realizarse con Photomodeler, se termina realizando en un software externo con una gestión de nubes de puntos más potentes y avanzadas (Geomagic Studio). Por último, se ha limpiado la malla de irregularidades con "Rapidform", cerrando solo pequeños espacios abiertos, el res-

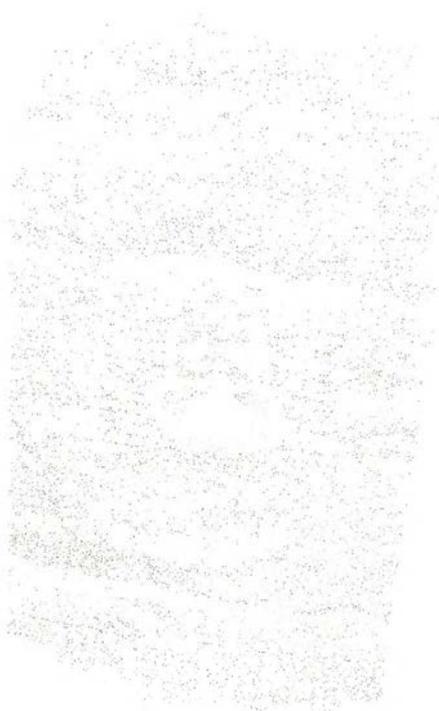


Figura 074. Nube de puntos generada por Photomodeler de la tronera del cubo de defensa del pilar de Carlos V, junto a la Puerta de la Justicia de la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

to de faltas se respetan para no alterar la geometría del modelo final.

El tiempo empleado para la obtención del modelo ha sido: Photomodeler 2 horas, Geomagic Studio 1 hora 40 minutos y Rapidform 30 minutos.

#### b. Descripción de procesos en Photoscan

De cara a la confección de la nube de puntos por medio de Photoscan se han utilizado las mismas fotografías, en disposición y número que las realizadas para Photomodeler.

La automatización con este software nos permite, ya de inicio, aseverar que el proceso es más simple y rápido. La etapa previa a comenzar con el flujo de trabajo establecido por Agisoft comporta la carga del calibrado de la cámara relacionado con esta, el objetivo y sus ajustes en el momento de la toma de imágenes. Este proceso queda descrito en el capítulo 3.2.1.2.

Los pasos practicados durante la fase de trabajo (o flujo de trabajo atendiendo a la nomenclatura empleada por el fabricante) con Photoscan serán, específicamente, los siguientes:

- Crear una capa (opcional) a la que atribuir un nombre y poder distribuir el proyecto de forma ordenada en aquellos casos en los que la complejidad del mismo requiera el desarrollarlo por partes o porciones. En nuestro caso no se hizo necesario pues el número de fotografías y la morfología del cuerpo no lo requerían.
- Añadir fotografías a la/las capas correspondientes. En nuestro caso, y como ya se ha reseñado con anterioridad, se cargaron 16 fotografías en la capa genérica.
- Orientar fotografías. Para el caso sobre el que actuamos se emplearon los valores por defecto y se escogió el “alto” de entre las opciones de precisión. No siendo necesario el recorte manual por medio de máscaras que focalizarán el trabajo del programa. Finalizado este proceso se ha obtenido una nube dispersa de 8.437 puntos comunes.
- Crear nube de puntos densa. En nuestro caso se opta por calidad “alta” y filtrado “agresivo” obteniendo una nube con 20.920.083 puntos.
- Crear malla. El tiempo empleado para la obtención del modelo a calidad

alta y rasgos acusados, ha sido el especificado en la tabla 009, no habiéndose realizado ningún tratamiento de cepillado posterior a la malla. El procesado, formalizado en esta ocasión con equipos diferentes con la intención de comprobar si el rendimiento interno de estos influye, además, en los resultados obtenidos para unas mismas fotografías y especificaciones, nos ha dado los siguientes resultados:

Equipo	Tiempo	Nº polígonos de la malla
Intel Core i7 a 2,9 Ghz 16 Gb de RAM Tarjeta Gráfica GeForce GTX 550 Ti 1 Gb Disco duro externo 2,5" usb 3.0 Sistema operativo Windows <b>Ordenador portátil</b>	32 minutos	19.344.903
AMD A10-7300 Quad Core 1.9 GHz 8 Gb de RAM AMD Mobility Radeon R6 M255DX Disco duro externo 2,5" usb 3.0 Sistema operativo Windows <b>Ordenador portátil</b>	44 minutos 20 segundos	8.020.425
Intel Core i7 a 2,3 GHz 16 Gb de RAM Gigabyte GeForce GTX 750 Disco duro externo 2,5" usb 3.0 Sistema operativo Windows <b>Ordenador sobremesa</b>	34 minutos 12 segundos	17.034.344
Intel Core i5 a 3,3 Ghz 24 Gb de RAM AMD Radeon R9 M395X 4096 Mb Disco duro externo 2,5" usb 3.0 Sistema operativo Mac OSX <b>Ordenador sobremesa</b>	29 minutos 28 segundos	25.714.731

Tabla 009 (izquierda). Comparativa de tiempos y polígonos generados para una misma geometría, requerimientos en software y fotografías. Fuente: Autor.

### c. Comparativa de resultados

Obtenidos los modelos se procede a su verificado y cotejado midiendo las desviaciones derivadas de su comparativa directa. Con esto, y a partir de las mediciones efectuadas en campo, se determina la precisión e idoneidad y, a su vez, las desviaciones aparecidas entre estos.

De entre las reflexiones más inmediatas nos encontramos con:

- El tiempo de cálculo es muy disparejo, siendo considerablemente mayor en Photomodeler.
- La superficie restituida es de mayor calidad y definición con Photoscan.
- El nivel de detalle es muy alto en ambos casos.
- Para una misma cantidad de fotos, Photomodeler, se comporta con más retardo.
- Las zonas sombreadas no se resuelven de forma efectiva en ninguno de los casos, siendo más sencillo concebir una mejora en Photoscan.
- Los formatos exportables en ambos casos son muy variados; para Photoscan en 2D tendremos: .jpeg, .tiff, .png, Google Maps Tiles, MapBoxTiles y World Wind Tiles; para 3D: .obj, .3ds, .wrl, .dae, .ply, .stl, .fbx, .dxf, .polyline/3DFace, .u3d, .pdf y .kmz; y para Photomodeler en 2D: .bmp, .dng, ERDAS img, .jpeg, .geotiff, .png, .pcidsk, .nitr y .tiff.; para 3D: .3ds, .3dm, .fbx, .kml, .kmz, .las, .obj, .txt y .wrl.

Con la representación conjunta por superposición de ambas mallas podemos ver con claridad el desfase producido en cada eje y su valor expresado en mm.

El error máximo adquirido está en ubicado en las zonas superior e inferior del modelo y presenta un valor de 6,34 mm. Este dato es, por otro lado, lógico pues es allí donde mayor cantidad de residuales e imperfecciones pueden aparecer al generar la geometría (figura 075).

El error medio es aceptable (2,19 mm.) y, además, solo afecta al 2,17% del total de la mala, pudiendo considerarse inapreciable.

### d. Conclusiones

Tendremos pues los siguientes términos generales:



Figura 075. Comparativa de distorsión de mallas generadas por PhotoScan y Photomodeler. Resultado obtenido con CloudCompare v.2. Fuente: Autor.

	Photomodeler	Photoscan
Óptima precisión con una cantidad mínima de fotografías		
Registro y revisión integral en torno a los ajustes del programa		
Modelos de alto detalle y excelente resolución		
Nivel de error medio registrable y corregible durante las fases de trabajo permitiendo el arreglo de acuerdo con las necesidades y tolerancias de proyecto		

Modelos con texturas de gran calidad	
Rapidez al uso	Necesidad de cometer una gran cuantía de pasos para adquirir un modelo de calidad
Captura fotográfica sencilla	Necesidad de vigilar el número de imágenes finales y calcular de forma adecuada el par estereoscópico para evitar elevar el trabajo de referenciado de puntos en el ordenador
Sistema metódico y automatizado	Necesidad de controlar continuamente cada proceso, para evitar errores en el modelo final
Necesidad de software externo para gestionar la malla de forma eficiente	
Amplia posibilidad para exportar resultados 2D y 3D	
Experiencia dilatada para obtener resultados satisfactorios	
Obtención de resultados con buena relación calidad/tiempo	
Toma fotográfica "libre"	Necesidad de controlar cantidades máximas de fotografías e importancia del cálculo de pares óptimos
Equipos informáticos potentes para proyectos medios/altos	

Tabla 010. Comparativa de los software seleccionados según el apartado 3.1.1.1 de la presente tesis. Color verde indica aprobación. Fuente: Autor.

Vistas las posibilidades de toma de datos con ambos sistemas, los resultados obtenidos con cada uno de ellos, su velocidad, detalle y facilidad de uso, el software escogido es PhotoScan en su versión profesional<sup>31</sup>. No pudiendo conjeturar con anterioridad a la recepción del proyecto las cualidades, necesidades y características propias de este, es más apropiado el uso de un software polivalente en el que se puede trabajar con un mayor número de imágenes, sin extender en exceso los tiempos de cálculo y resultando modelos de mayor calidad (figura 076).

### **3.3.2. Orientación de imágenes y transformación de puntos bidimensionales a coordenadas 3D**

Escogido y justificado el software que nos acompañará a lo largo de toda la investigación debemos ahora adentrarnos en describir la sistemática de trabajo en función de la operativa desarrollada intrínsecamente por el programa.

Ultimada la toma fotográfica, contamos por tanto con unos datos gráficos recogidos por la cámara y pretendemos lograr un emparejamiento “basto” entre ellas. Es recomendable, antes de adentrarse en las fases de trabajo, ordenar la información en carpetas, según la envergadura y el número de lotes o porciones en que debemos dividir el modelo para hacer posible su manejo. Esto acelera el posterior trabajo, dado el alto número de fotografías que en algunos casos se alcanzan (figura 076). Hecho esto procederemos a la alineación de las cámaras.

De acuerdo con la nomenclatura del flujo de trabajo de Agisoft, a la que hemos hecho referencia en el anterior apartado (3.2.3.1), estamos frente al “orientado de fotos”. Aquí, y dado que se conoce la información de las cámaras, es el momento de alcanzar una estructura 3D a través de un método de triangulación (Torr 1995 y 2002 y Hartley & Zisserman 2004) por el conjunto de emparejamientos. Esta se fundamenta en el cálculo de rayos de retro-proyección dados por dos puntos imagen que establecen una correspondencia. El lugar sobre el entorno tridimensional en el que coinciden estos haces moldeará parte levantamiento que investigamos.

El resultado de esta etapa es la obtención de la nube de puntos en torno a la

---

<sup>31</sup> Funcionalidades de esta versión (algunas no activas en la estándar y educacional): Triangulación fotogramétrica, generación y edición de nube de puntos densa, generación y texturizado de modelo 3D, composición panorámica esférica, soporte de cámaras con ojo de pez, apoyo a cámaras esférico y cilíndrico, clasificación de nubes de puntos densa, DEM para georreferenciación y exportación DSM/DTM, georreferencia de exportación de ortomosaico, edición de ortomosaicos, apoyo con marcadores, ayuda con puntos de apoyo, detección y codificación de objetos, procesamiento de imágenes multiespec-

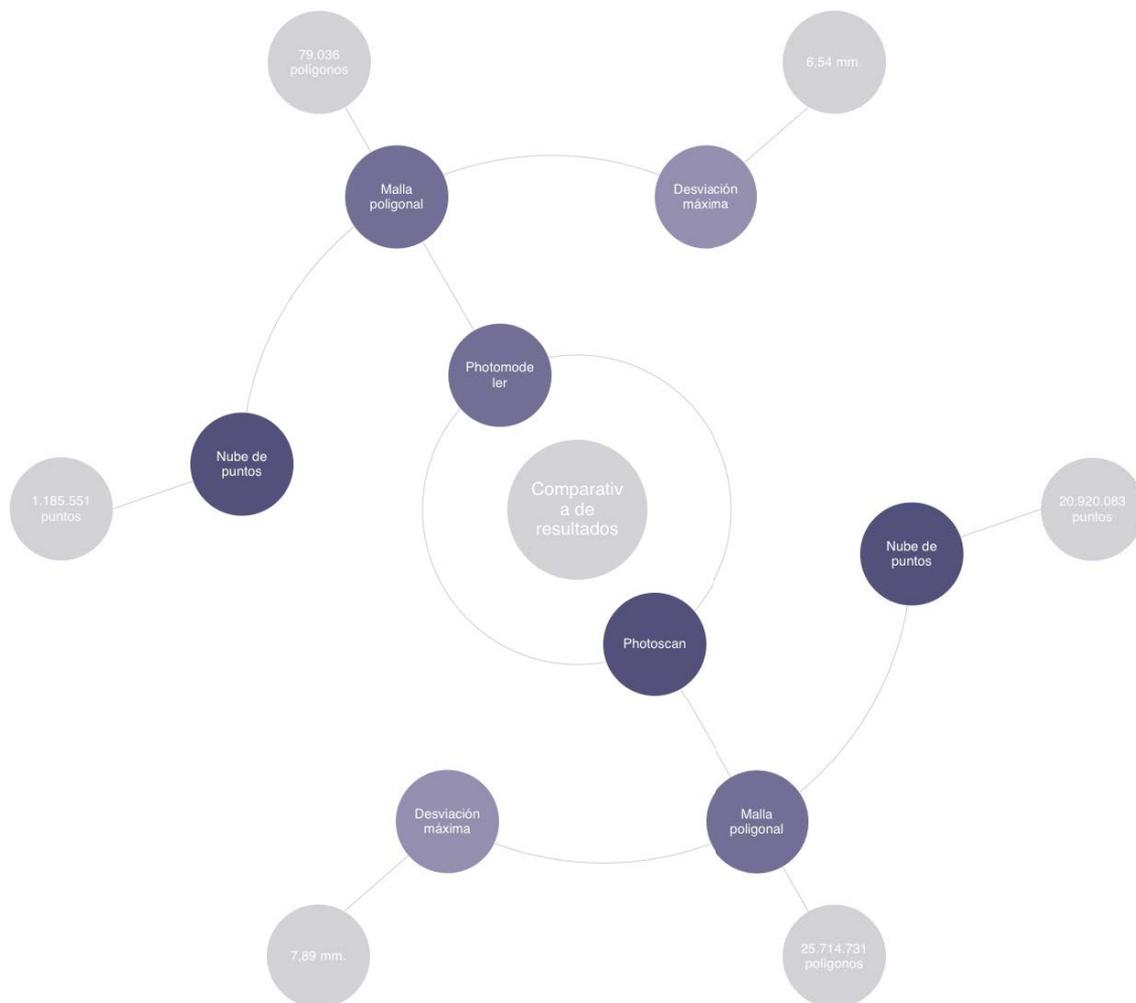


Figura 076. Comparativa de resultados entre Agisoft PhotoScan y Photomodeler para este supuesto práctico. Fuente: Autor.

cual se establecerá la geometría. Es de destacar que, acto seguido a este desarrollo, es preciso prestar atención a si se nos han alineado debidamente todas las imágenes o si, por el contrario, ha surgido algún error pues, de esta etapa, dependerá el resultado final de nuestro modelo.

La etapa de orientación, como ya se ha definido, pretende localizar los parámetros de situación externa de cada fotografía empleada. Esta se deduce conti-

nuamente por medio de dos procesos: El primero, de apreciación e identificación de puntos destacables dentro de la fotografía, confluye en una agrupación informativa (figura 077) de aquello más próximo a la situación del punto; La segunda, y a través del principio de colinealidad y del método bundle-adjustment se consiguen una agrupación de puntos homólogos entre las imágenes (figura 078).

Cada punto fotográfico se corresponde con una ecuación de colinealidad configurando un sistema resuelto por el procedimiento iterativo de los mínimos cuadrados del teorema Gauss-Markov (Chiabrando , Donadio y Rinaudo, 2015), con el que se ratifican las coordenadas tridimensionales de los puntos de la imagen, los valores estáticos de estimación de las medidas desconocidas y las medidas externas de orientación desde donde se realizaron las fotografías y que constituye el considerado como algoritmo más habitual dentro de la comunidad de visión por ordenador. Durante la orientación, los parámetros intrínsecos de la cámara dejan de ser incógnitas y pasan a ser fijos.

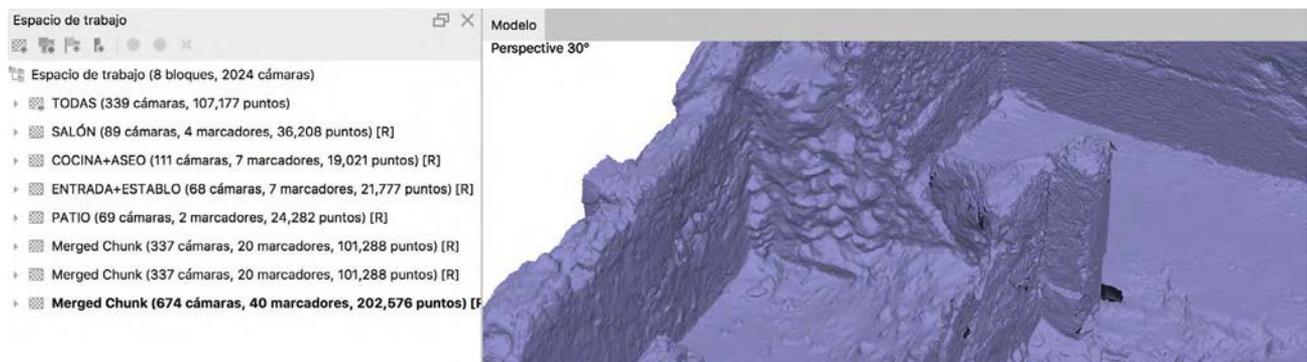


Figura 077. Ejemplo de espacio de trabajo por bloques. Excavación arqueológica de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Ya dentro de Agisoft, se fijan parámetros generales relacionados con la precisión (desde máxima a mínima y pasando por alta, media y baja); se permite escoger la pre-selección como genérica o por referencia, esta última para aquellos casos en los que las capturas dispongan de coordenadas conocidas; admite establecer el número máximo de puntos clave o de enlace en cada imagen y activar máscaras (figura 079) que enfunden aquellos elementos que, por cualquier razón (movimiento, vegetación, entorno, nubes, circulación, etc.) pudieran ralentizar o empeorar el resultado alcanzado y conferir errores de orientación al modelo.

### 3.3.3. Proceso de restitución fotográfica. Nube de puntos densa.

Efectuada la calibración y la orientación de las fotografías, el siguiente paso es la fase de restitución del modelo a través de la determinación e identificación de puntos equivalentes entre las imágenes.

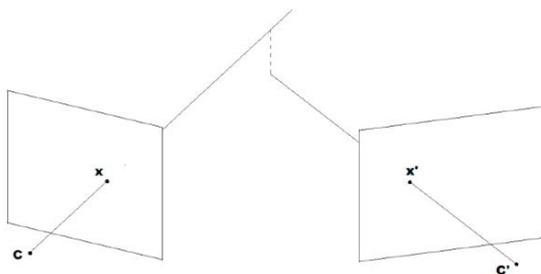


Figura 078. Ejemplo de triangulación. Fuente: Autor.

Es recomendable acumular mayor cantidad de puntos de apoyo, introducidos manualmente, en aquellas zonas más destacables, complejas, importantes y/o no determinadas o sombreadas (figura 080 y 081) del bien patrimonial a restituir con el objeto de mejorarlas o, respectivamente, definir las. Estos puntos, nombrados por Agisoft como marcadores, resuelven algunos de los fragmentos “inciertos”



Figura 079. Ventana emergente en fase flujo de trabajo de orientación de fotos dentro de Agisoft PhotoScan. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle, Murcia. Fuente: Autor.

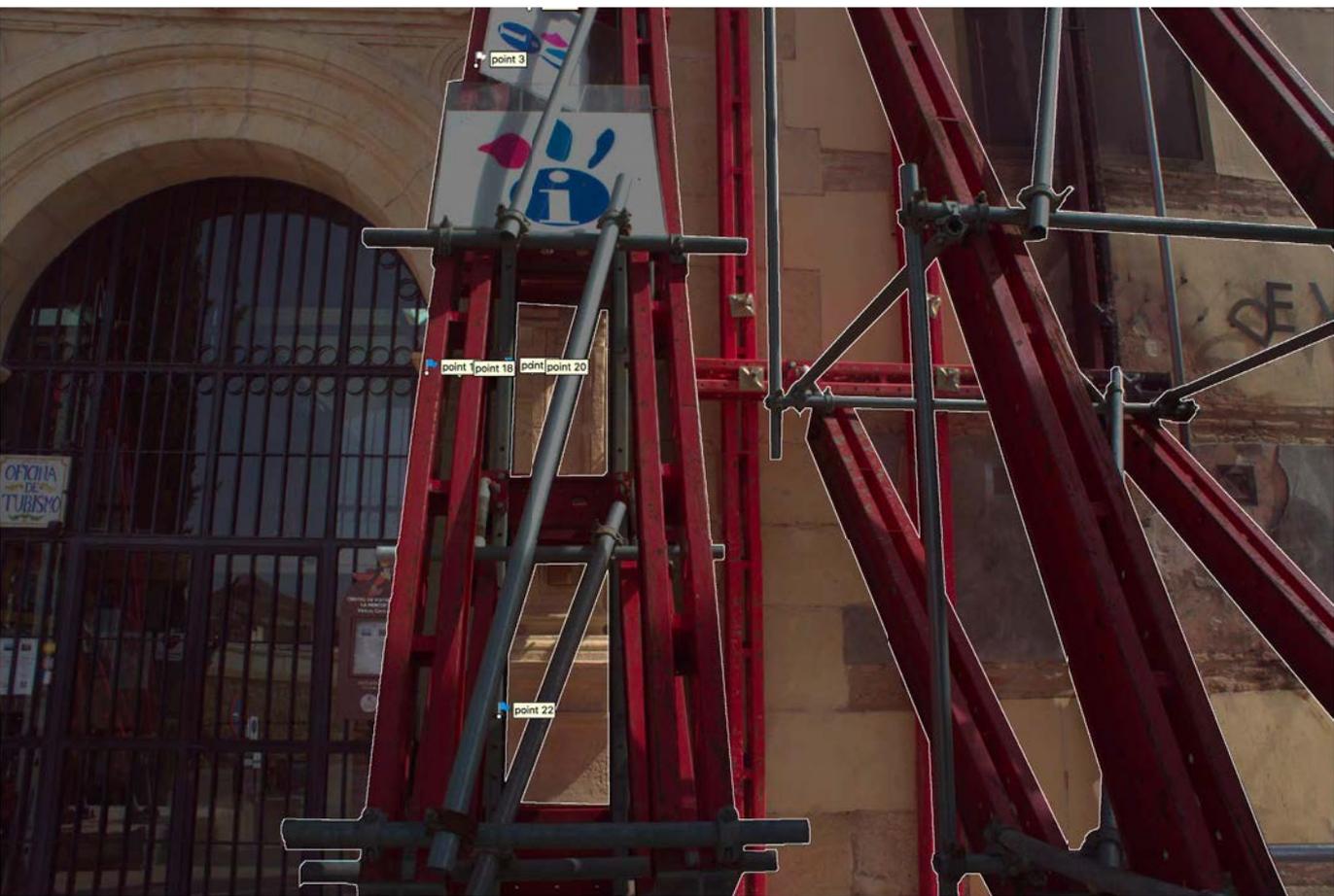
o problemáticos que resultan de esta etapa de trabajo (figura 082) y que mejoran la automatización, la captación de algunos puntos espacialmente complejos, la presencia de áreas texturizadas en la totalidad del modelo, la concreción de objetos en movimiento, la revelación de elementos con reflejos, transparentes o translúcidos, etc.

Este proceso, efectuado opcionalmente y tratado como “de auxilio”, es po-

sitivo cuando la geometría del objeto, para ser definida totalmente, requiere de medidas manuales o semi-automáticas. Sin embargo, las técnicas automáticas, son las que, en el fondo, resuelven definen y conforman la adquisición gruesa de superficies detalladas (figuras 083 y 084).

Esto, metodológicamente empleado entre el flujo de trabajo de nube de puntos difusa y la obtención de la densa, y dado el progresivo perfeccionamiento y los últimos resultados en la rama de la correlación mecánica de imágenes o image matching (Remondino, 2008), atestiguan la manifiesta robustez adquirida por el método fotogramétrico para lograr exploraciones 3D detalladas y rigurosas a diversas escalas (figuras 085 y 086) que, incluso, la llevan a compararla con la derivada de los trabajos con sensores activos.

Crear, por tanto, una nube de puntos densa, etapa, por otro lado, incluida en las últimas actualizaciones del software, nos permite ahondar más si cabe en la nube de puntos previa fruto de la orientación inicial y aprovecharnos de los, a veces, existentes targets anteriormente expuestos. Este apartado, de no obliga-



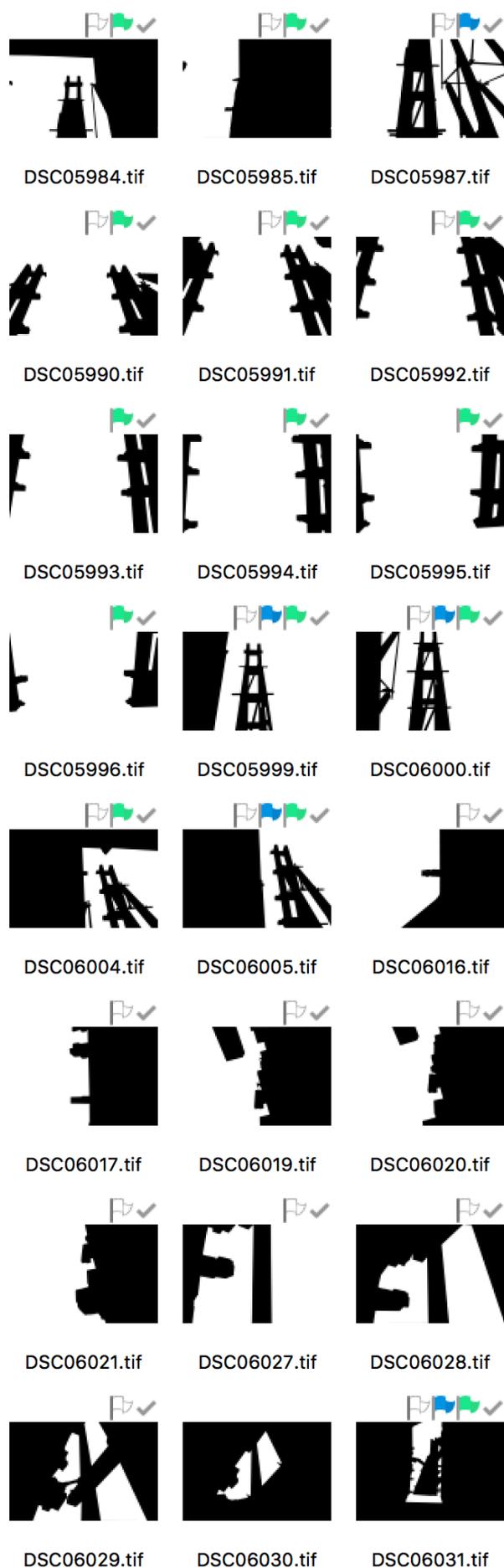


Figura 080 (izquierda) y figura 081 (superior). Máscaras de PhotoScan para ayudar al software fotogramétrico a no considerar aquello que no es objeto del levantamiento. Labores de conservación tras sismo. Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 082 (derecha). Captura de pantalla sobre la ventana de “imágenes” de PhotoScan. Proyecto de levantamiento con 57 fotografías con máscara. Labores de conservación tras sismo. Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.



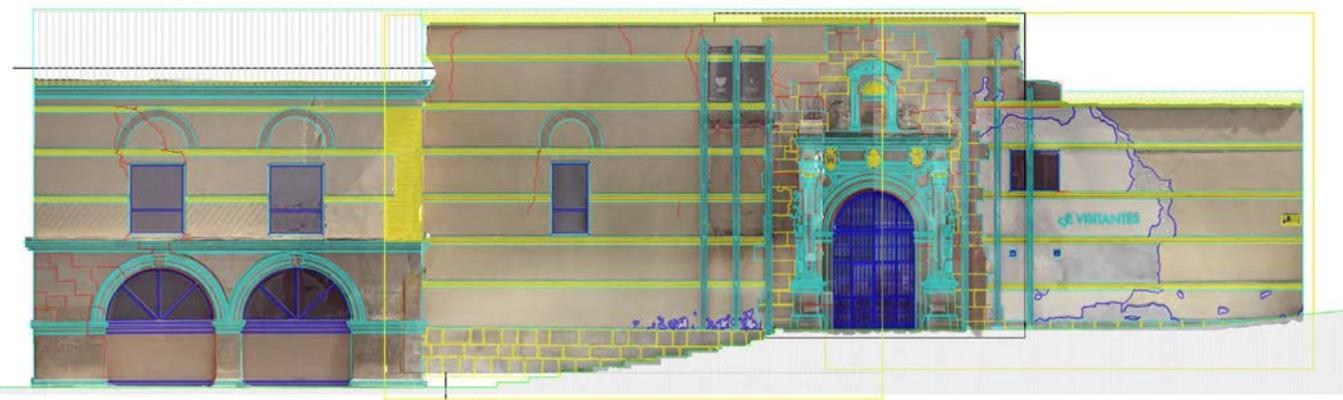
Figura 083 (superior izquierda), figura 084 (inferior izquierda), figura 085 (superior derecha) y figura 086 (inferior derecha). Respectivamente: Apuntalado de seguridad por desprendimiento y derribo. Vistas frontal y lateral. Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 087 (derecha). Solape entre ortofotografía y representación CAD del alzado norte general. Antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Representación lineal Jerónimo Granados, ortofotografía realizada por el autor.



do paso, dotará al modelo de una malla mucho más compleja y semejante a la realidad (figura 087). Es por ello que, de no ser necesario, podríamos obviar este flujo y obligar al software a que genere, directamente, la malla tridimensional.

En la ventana emergente, derivada del proceso, se nos permite escoger entre varias calidades: Extra alta, alta, media, baja y mínima (figura 088); y la posibilidad de realizar un filtrado de profundidades, donde, de existir pequeños detalles que precisan ser reconstruidos se propone escoger la “leve”, en caso contrario utilizar “agresivo”, si lo que se demanda es la reconstrucción de una escena con detalles y zonas sin detalles emplear el “moderado”. Pero, sólo en casos muy específicos, se posiciona en “desactivado” porque reconstruye con considerable ruido.

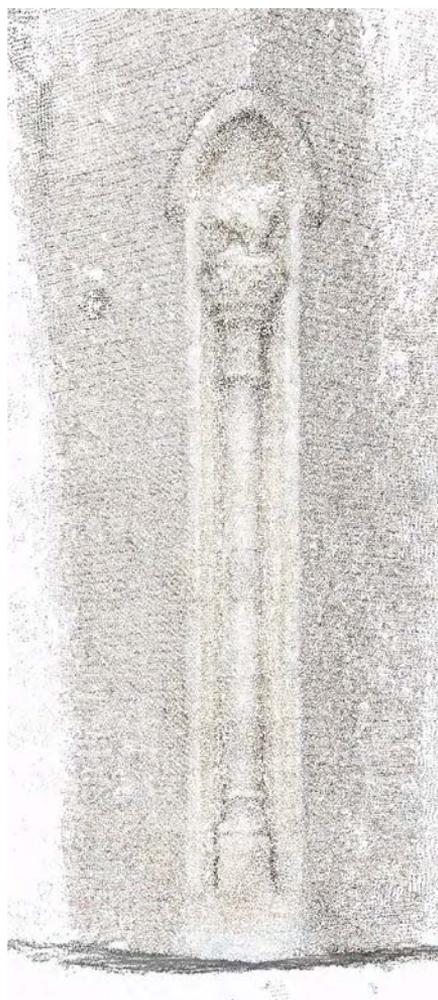


### 3.3.4. Modelo tridimensional: Las mallas

En esta etapa se produce la generación de la malla que va a ultimar la geometría de nuestro modelo. Con ella se originarán una cadena de vértices y, consecuentemente, de polígonos, que concurrirán en el verdadero volumen a la aglomeración de puntos.

La asociación de todos los mapas de profundidad en torno a un único modelo mallado global proporciona los mapas de profundidad o depth map generation (Rothermel, Haala & Fritsch, 2016 p.117).

Por tanto, extraídos los puntos más relevantes que nos permiten detallar el objeto y sus peculiaridades (nube de puntos densa o difusa), el conjunto de puntos en general (figura 089) se retrata en una superficie poligonal, o mesh, que admite



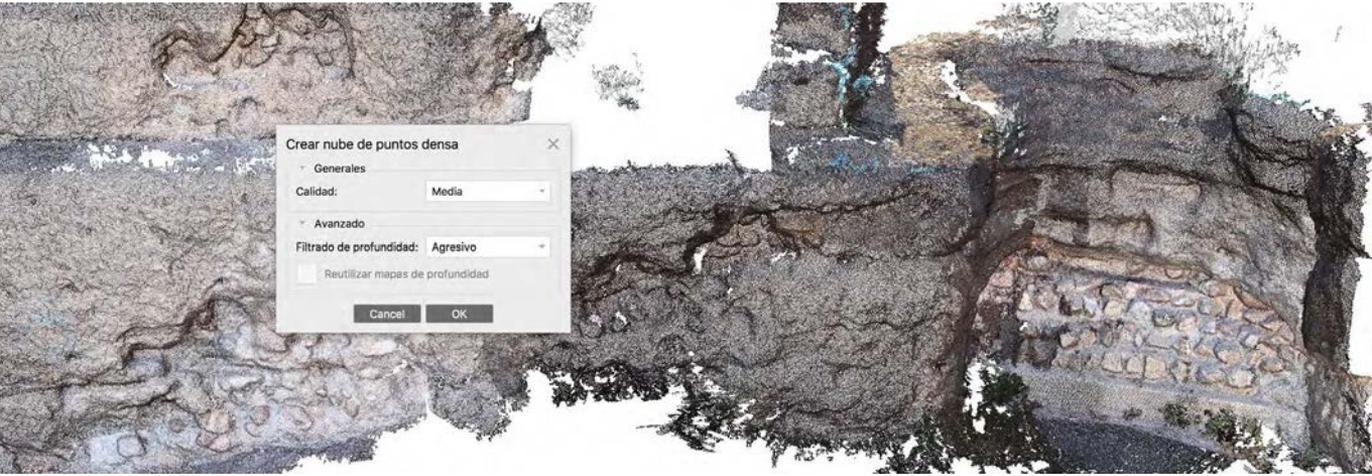


Figura 088 (superior). Ventana emergente en fase flujo de trabajo de nube de puntos densa dentro de Agisoft PhotoScan. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle, Murcia. Fuente: Autor.

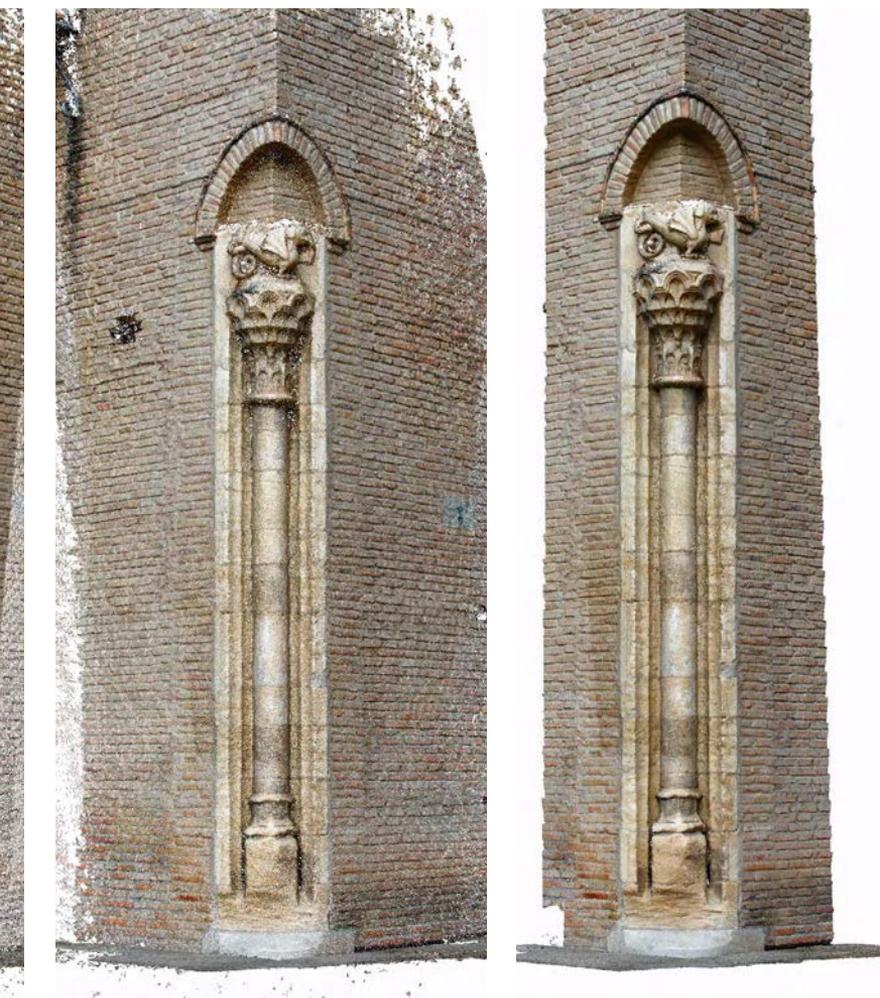


Figura 089 (izquierda). Collage densidad nube de puntos con PhotoScan. De izquierda a derecha: calidad mínima (181.295 puntos), baja (772.783 puntos), media (2.32.443 puntos), alta (9.469.209 puntos), extra alta (43.362.683 puntos). Detalle columnata esquina Palacio de los Córdoba (Granada).

gestionar de modo flexible la superficie, restituyendo, fidedignamente, una descripción del modelo.

Este proceso de restitución superficial no significa que, realmente, esta superficie sea exacta ya que conservará información solo sobre un número limitado y condicionado de puntos, ya sea por la calidad de la nube de puntos sobre la que se apoya o por la simplificación de la malla escogida en el flujo de trabajo.

La correcta colocación de información sobre una superficie se corresponde con una densidad de puntos que se amplifica en las zonas de gran discontinuidad y se reduce las más planas.

Dado que si, por una incorrecta distribución de puntos, alto ruido, falta de densidad, etc., la información alcanzada no adquiere los estándares de calidad establecidos por el algoritmo de generación de la malla originarán resultados no correctos.

Con la concepción de la mallas se compone la estructura sobre la que se sustentará el acabado fotorrealístico final. En Agisoft (figura 090) conseguiremos escoger el tipo de plano (arbitrario si se aplica para crear la malla de modelos complejos -estatuas, edificios, etc- y bajorrelieve/terreno principalmente diseñado para perfeccionamiento de superficies planas); datos de la fuente (para seleccionar si generar la malla desde la nube de puntos inicial o densa) y el número de caras que queremos alcanzar.

En este último ítem, Agisoft, aprueba escoger entre valores preestablecidos, y valorizados en función de la complejidad del entramado de partida, o la libre elección del número de triángulos donde 0 será el mayor número de polígonos posibles. Ante lo simple del modelo escogido para el ensayo, se selecciona un tipo de superficie arbitraria y se genera la malla desde la nube de puntos densa en calidad alta.

Aquí, y para sacar el máximo producto del equipo informático, se puede acceder a las preferencias del programa y aprovechar la potencia de la tarjeta gráfica, activando el cálculo por GPU y desactivando tantos procesadores como tarjetas

gráficas activemos. Esta operación, que sólo afecta a la primera etapa de reconstrucción de profundidad, acelera cuantiosamente los cálculos y, por consiguiente, los tiempos finales logrados.

### 3.3.5. Asignación de colores a sólidos y texturas

Alcanzado este punto ya sólo nos resta generar la textura fotográfica de nuestro modelo tridimensional. Pese a que en puntos anteriores (3.2.3.4 y 3.2.3.5) sin texturizar es posible observar los colores originales de nuestro modelo, estos, son sólo una recreación de tonos aproximados dentro de la escala RGB que, simplemente, se apoyan en la correlación individualizada llevada a cabo por el software.

Un modelo digital tridimensional texturizado no sólo consiste en su representación geométrica sino que, además, provee una visualización foto-realista en la que se emplean fotografías a color que son proyectadas sobre la extensión poligonal del mismo y donde cada poligonal de la malla se colorea con la porción correspondiente a foto con mejor visibilidad y mayor perpendicularidad; con la representación de aquella que tiene mayor intensidad; menor intensidad; el promedio de ambas o en formato mosaico.

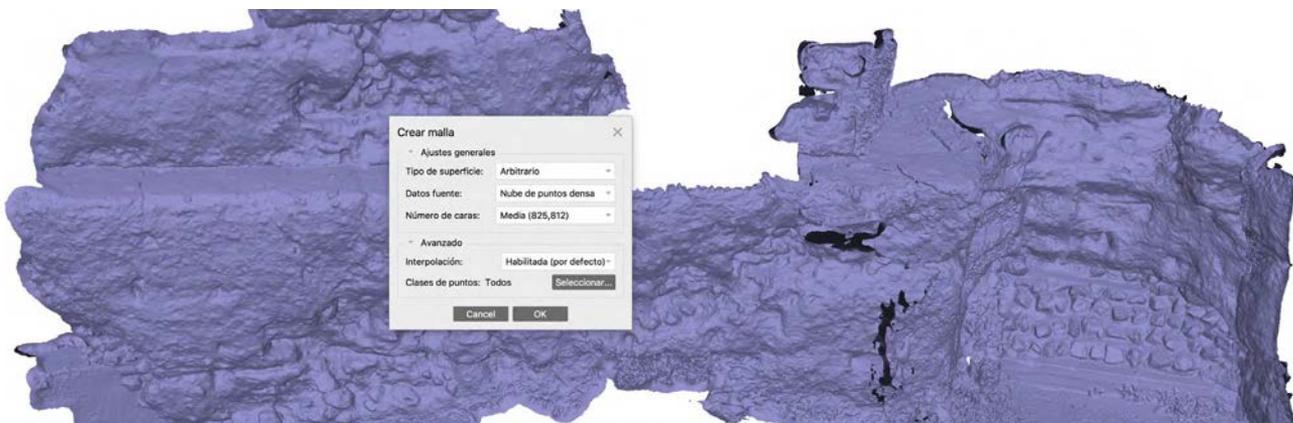


Figura 090. Ventana emergente en fase flujo de trabajo de creación de malla dentro de Agisoft PhotoScan. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle, Murcia. Fuente: Autor.

Este proceso, generado de forma sistemática, se apoya en la relación anteriormente alcanzada entre imágenes y modelo tridimensional.

Es importante distinguir entre texturas aplicadas y las de puntos coloreados. En el caso de Agisoft, y donde la textura es una correlación por foto-modelización, el modelo es texturizado concibiendo un sistema de proyección particular UV al que se le programan las imágenes anteriormente orientadas. Con este sistema se consigue mejor calidad y aspecto (figura 091) pues la resolución será considerablemente más elevada.

La importancia en la corrección de la topología del modelo es notoria en todo caso, pues, a una mejora en la calidad de la malla va sujeta una en la textura definitiva. La parametrización (Fantini, 2012 p. 314), que incorpora por asociación un vértice 3D a un espacio 2D, realizada por el programa durante el texture mapping (2.2) se acopla la fotografía a la superficie del modelo. Es, por tanto, el paso de un mapa bidimensional a un modelo tridimensional, o mapeado.

Con Photoscan, a la hora de ejecutar este paso, podemos seleccionar diferentes opciones como la resolución y el número de porciones de la textura, con qué imágenes se va a generar esta, así como otros parámetros que nos permitan alcanzar el resultado deseado. Tras esto, primero se realiza la parametrización y, en segundo lugar, la proyección de las fotos con la que conseguir la textura. El

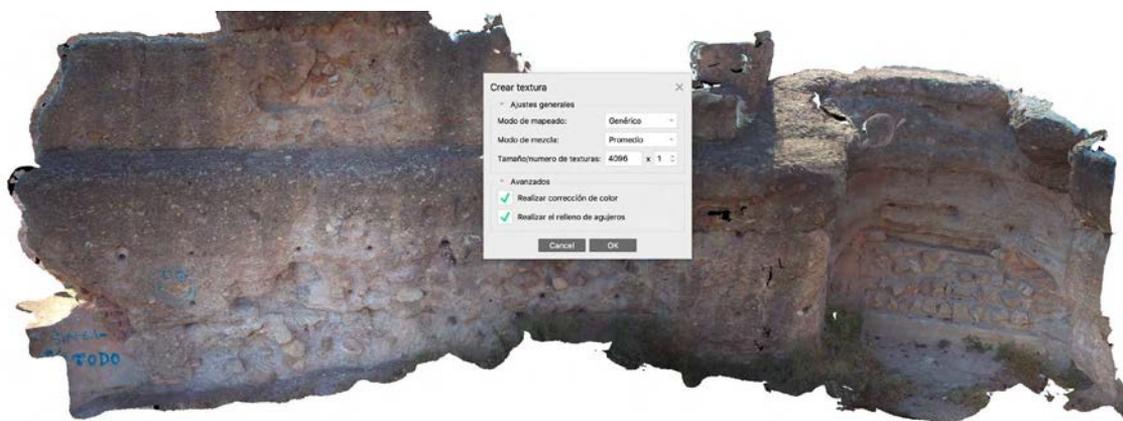


Figura 091. Ventana emergente en fase flujo de trabajo para creación de textura sobre malla dentro de Agisoft PhotoScan. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle, Murcia. Fuente: Autor.

procedimiento interno se basa en una mezcla o elección, en función del parámetro antes seleccionado por el usuario, y forjadas sobre el modelo. En definitiva, la textura se compone de la fusión de todas las proyecciones de las imágenes en torno al modelo y, el usuario, puede optar el tipo de parametrización y de fusión de colores y, será el software quien controle la colocación de los polígonos en el espacio UV.



Figura 092. Mapa UV bidimensional. Textura simplificada a un plano extraída de un modelo fotogramétrico 3D. Vivienda 10 excavación Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

De esta conexión modelo-textura se deriva, el denominado mapa UV, que no es más que una referencia en dos dimensiones (figura 092) sobre una porción del plano cartesiano, del llamado Mapa UV.

Entendida la texturización del modelo, es posible entender lo vital de la supresión de los errores topológicos, ya que, con estos, aparecerían errores en la fase de mapeado surgidos en la fase de parametrización.

### 3.3.6. Otras consideraciones.

Con la intención de mejorar los resultados y en forma de herramientas, es necesario tener en cuenta las siguientes acciones:

#### a. Contornos

Cuando se perpetran los levantamientos fotográficos y a lo largo del proceso llevado a cabo en gabinete, no es posible evitar que, en estos, se capten fragmentos o elementos no concernientes a la pieza que se va a modelar. Es por ello que se hace necesaria una etapa en la que se pretende eliminar los haberes sobrantes o refinar aquellas partes que pudieran no ser de interés y que, si bien pueden o no

forman parte de la pieza, no conservan una adecuada calidad y es más ventajoso eliminarlas.

La limpieza de la malla, eliminando aquellas partes o porciones no deseables (como partes no pertenecientes al modelo o falsas restituciones por errores de información en las fotografías) suelen derivarse de zonas sobreexpuestas o con fuertes sombras.



Figura 093. Modelo tridimensional que fusiona la geometría con la textura fotorrealística. Vivienda 10 excavación Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

El utensilio de selección de Agisoft, con sus lazos rectangulares, circulares y de forma libre o con sus ediciones de inversión, aumento, contracción y selección gradual, equiparables por otro lado a las funcionalidades de programas específicos de modelado, no presentan la aptitud suficiente cuando tratamos con mallas tremendamente complejas (figura 093) y que requieren de un recorte de precisión e irreprochablemente definido (figuras 094 y 095). Es, de aquí en adelante, cuando el guiño a los software de terceros se hace, en muchos casos, indispensable.



Figura 094 (superior) y figura 095 (inferior). Perspectivas laterales del modelo tridimensional que fusiona la geometría con la textura fotorrealística. Vivienda 10 excavación Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

### b. Relleno de huecos

Acabadas las etapas preliminares, y alcanzada una representación completa, es decir, una malla de polígonos delimitada en todas sus caras, es normal que aparezcan o permanezcan pequeños huecos que no se han tapado por falta de representación fotográfica o por presentar errores topológicos, y que, si no son de tamaño considerable, se pueden revestir, dentro del mismo Photoscan, para conseguir una pieza completamente cerrada (figura 096) sin que, con esto, se dote al modelo de cambios significativos en su morfología.

El software de referencia, a pesar de disponer de herramientas que permiten realizar estas tareas de cerrado de agujeros, no terminan de ser tan pulcras como debieran y se suele recurrir a software externo (Autodesk Remake, Meshlab, Rhinoceros, etc.) que, sistemáticamente, realiza eficazmente el proceso (figura 097).

### c. Orientación de la pieza

Esta fase, aunque de inicio pue-

Figura 096. Collage modelo fotogramétrico (izquierda) realidad (derecha). Ejemplo de bordes de malla mal definidos fruto de una escasa limpieza en la nube de puntos o de la necesidad de máscaras fotográficas que delimiten el área de trabajo fotogramétrico. Zona exterior de la Puerta de la Justicia, Al-



de no considerarse necesaria dentro de un software de edición, pasa a serlo cuando el modelo es exportado a otros programas donde la elección de las vistas es cardinal.

El propio Agisoft, aunque no muy mejorado al respecto cuando se pretende rotar “manualmente” el volumen de trabajo, permite dotar al modelo de orientación en función de referencias externas tomadas por métodos y equipos topográficos, la pericia del observador y/o las propias georreferencias (figuras 098 y 099) dadas por las fotografías en el momento de su toma (figura 100).

d. Valor dimensional: Escalado del modelo

Finalizado el proceso y poseyendo el modelo, en caso necesario, se realiza el escalado definitivo con la intención de poseerlo en verdadera magnitud, ya que, de lo contrario, el objeto conseguido tendrá valores adimensionales.

Así, valiéndonos del modelo generado, se puede elegir una medida tridimensional, a ser posible la de mayor longitud posible pues introduce error en menor proporción, que emplean dianas de referencia de coordenadas conocidas o localizaciones concretas de puntos perfectamente definidos sobre el modelo (y que están georreferenciados) y que sirven al escalado.



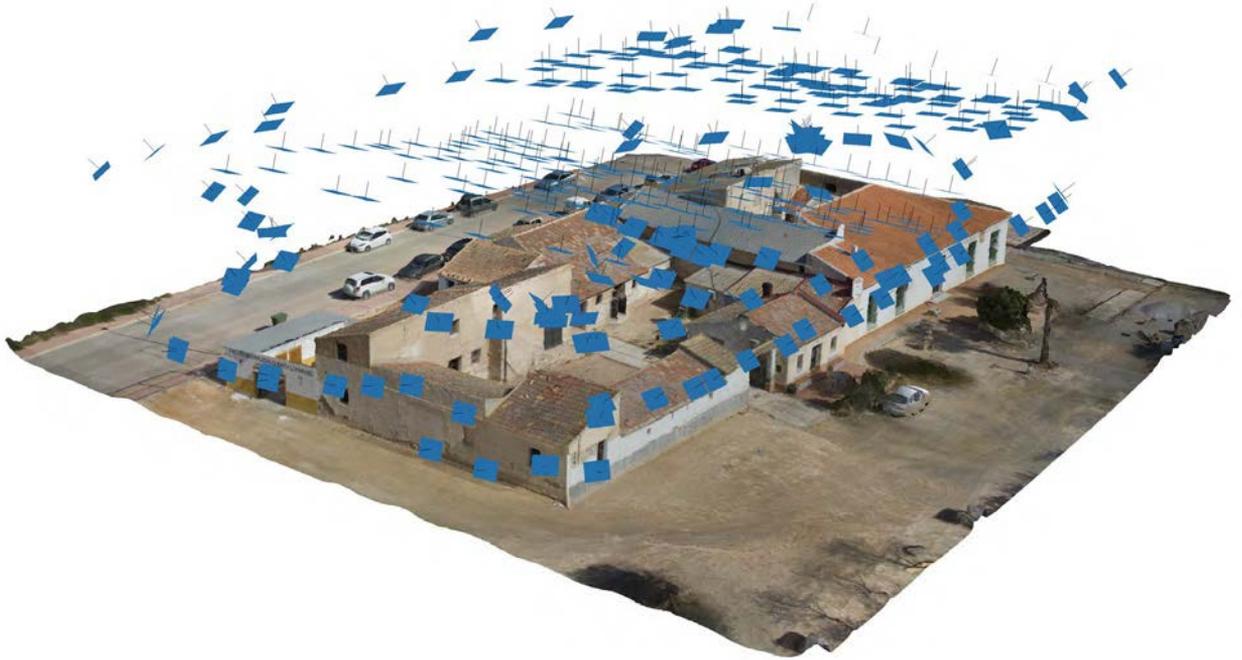




Figura 098. Alzado georreferenciado resultado del trabajo fotogramétrico. Tareas de levantamiento gráfico para la rehabilitación de la Alquería de Lo Marabú, Rojales (Alicante). Fuente: Autor.

Figura 099. Orientación y ubicación de cámaras por georreferenciado a partir de las coordenadas proporcionadas por el DJI Phantom en los metadatos de la fotografía. Tareas de levantamiento gráfico para la rehabilitación de la Alquería de Lo Marabú, Rojales (Alicante). Fuente: Autor.

Figura 100. Perspectiva a vista de pájaro del complejo de la alquería. Tareas de levantamiento gráfico para la rehabilitación de la Alquería de Lo Marabú, Rojales (Alicante). Fuente: Autor.

Agisoft limita el escalado del modelo a la introducción de una distancia de referencia y, además, posibilita la introducción de sistemas de coordenadas ligados a puntos de control que admiten diferentes datos para escalar el modelo, por lo que, de querer establecer otros métodos o formas de escalado, se requiere hacer uso de software de terceros.

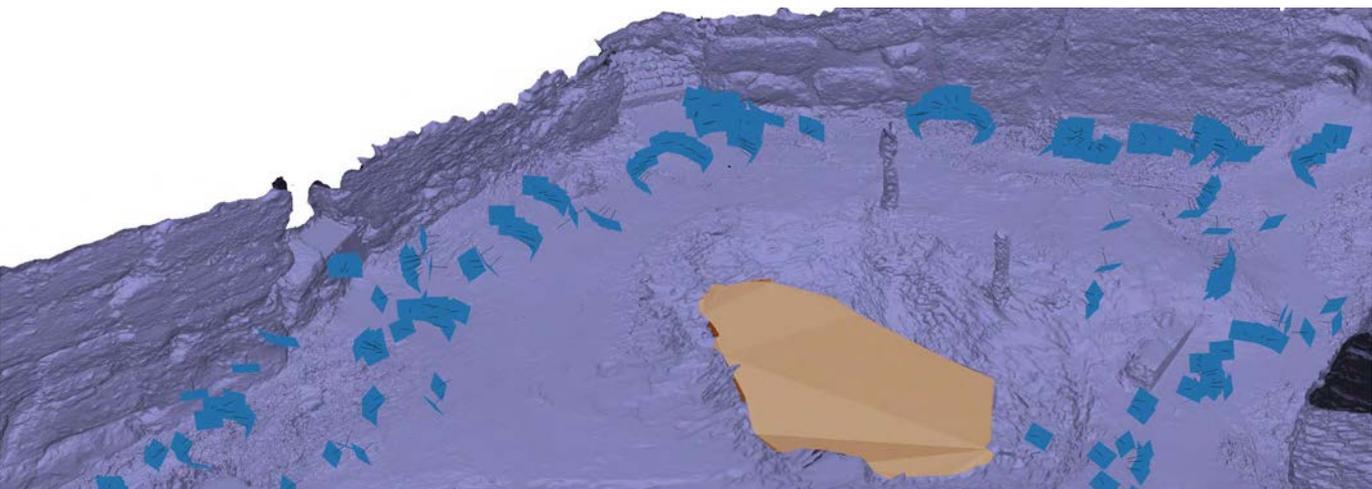


Figura 097. Relleno de huecos con herramienta de PhotoScan. Captura de pantalla de ventana emergente derivada del comando. Plataforma del Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

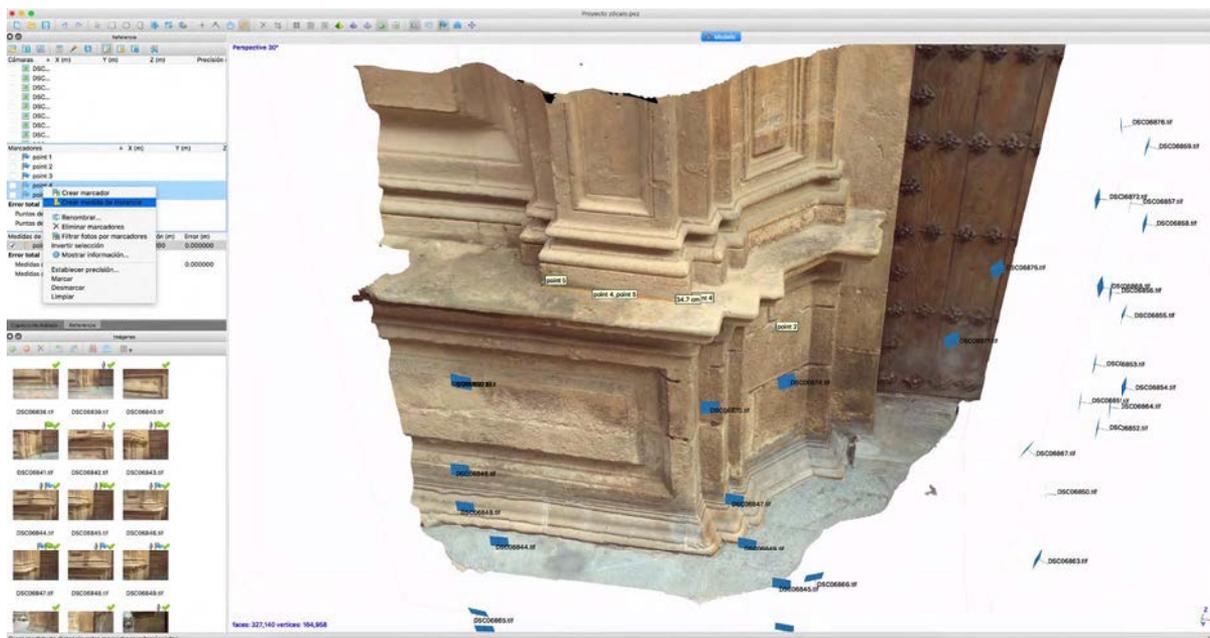


Figura 101. Espacio de trabajo en PhotoScan en fase de escalado de modelos tridimensionales con valores de referencia tomados en la fase de trabajo de campo. Detalle zócalo de acceso a Iglesia Conventual de Santa Ana, Murcia. Fuente: Autor.

### 3.4. ETAPA 04: PRODUCTOS

A lo largo de este capítulo se reseñan las herramientas tecnológicas que actualmente están más extendidas en el ámbito perteneciente al patrimonio y que poseen cuantiosas ventajas a la hora de documentar, investigar, evidenciar y poner en valor cualquier tipo de bien patrimonial.

Dada la influencia de estas nuevas tecnologías en la vida cotidiana de cada vez más gente y ante la implosión de esta nueva era en el factor de difusión de noticias, novedades y/o estudios, existe una tendencia que propicia el uso, casi desenfrenado, de las tecnologías sin, previamente, tener en cuenta si estas manifiestan las necesidades del proyecto o investigación sobre el que actúan. Los incesantes adelantos tecnológicos en ramas como la captura de datos o la informática están favoreciendo al progreso de cómo es manifestado y percibido el patrimonio cultural tanto por investigadores, visitantes o usuarios. La apuesta por técnicas como la realidad virtual o las posibilidades brindadas por la realidad aumentada en en-

tornos en los que, realmente, se desconoce qué se quiere hacer con ellos, confiere a un centro anticuado únicamente un medio pero no una mejora. No se trata de aprovechar las nuevas tecnologías de manera inconsciente, sino lograr perfeccionar arqueología, historia, arte, arquitectura y patrimonio en general gracias a ellas.

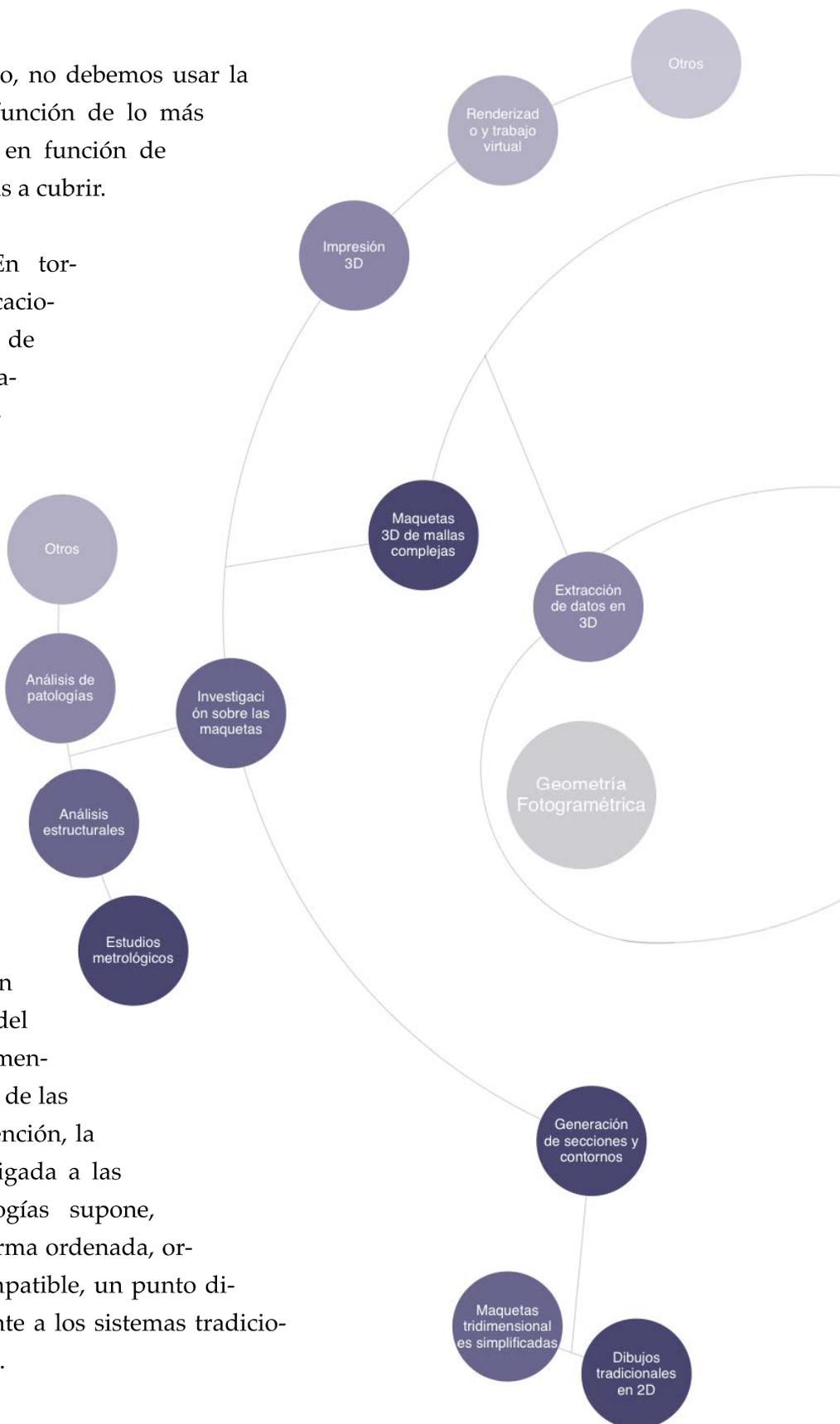
Previo a la evolución tecnológica, los objetivos de la Carta de ICOMOS (Ename, para la Interpretación y Presentación de los Sitios del Patrimonio Cultural) terminaban siendo caracteres difíciles de adaptar dado el perfil estanco y rígido de que se disponía y que, en muchos de los casos, se ceñía al uso de paneles expositivos. Las TIC's, como Tecnologías de la Información y Comunicación que son, y como herramientas llevadas a cabo en torno al patrimonio, rediseñan las posibilidades de difusión y confieren un carácter mundial a los conocimientos accesibles en gran parte de la sociedad.

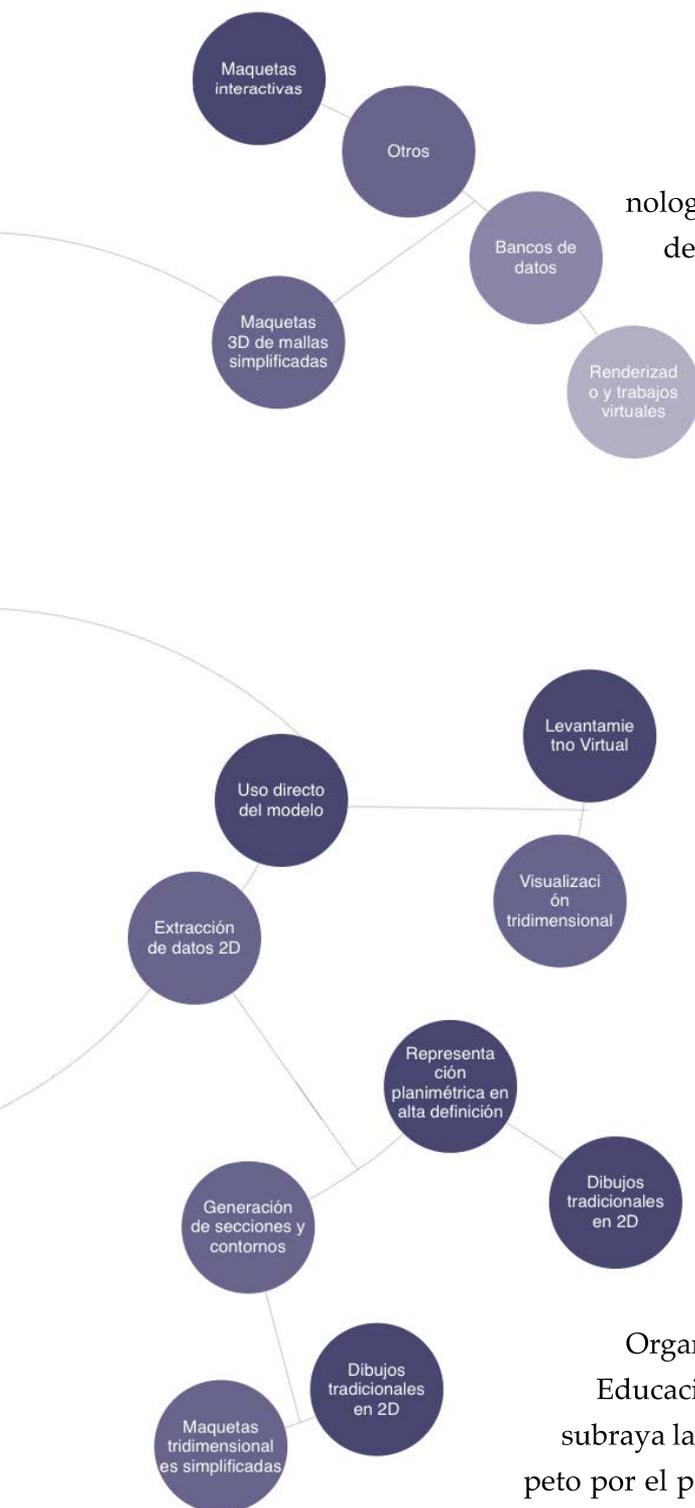
La fotogrametría se convierte (es ya) un instrumento tremendamente útil que, al emplearlo de forma indiscriminada, queda inutilizado. Así, perpetuamente, tendremos que plantearnos cuál es el propósito (figura 101) para el que trabajamos, cuál es el público y cuáles son sus necesidades. El trabajar para poner en valor el patrimonio lleva implícito que este sea estudiado, entendido y respetado por el mayor número de individuos. Por ello, se han de presentar un cúmulo de circunstancias que encaminen sus esfuerzos hacia la necesidad de dar a conocer, valorar y simplificar el acceso al público al patrimonio cultural.

Actualmente, la documentación gráfica del patrimonio asegura un crecimiento sostenible del mismo pues se fundamenta en la clara dimensión social, y en la necesaria interpretación del mismo ante una sociedad que, cada vez más, consume y demanda cultura. En un territorio nacional en el que contamos, afortunadamente, con un profundo legado patrimonial que, en muchos casos se ubica en zonas de difícil acceso, limitadas al tránsito y/o rurales que quedan alejadas de las rutas turísticas más comerciales, se hace necesario incentivar otras vías de dar a conocer y poner en valor toda esa fortuna patrimonial ampliamente seductora a través de la mutación patrimonial hacia un producto cultural que se adecue a su localidad y valga de impulso cultural a través del turismo (Baeza, 2011). Este hecho, en torno a la puesta en valor de monumentos con la intención de dar proximidad a los mismos, ya se propugna en la Carta de Atenas.

Por tanto, no debemos usar la tecnología en función de lo más novedoso sino en función de las insuficiencias a cubrir.

En torno a estas aplicaciones giran parte de los modelos usados en el desarrollo de esta tesis pues, como veremos más adelante, su aplicación real (profesional, docente o investigadora) está patente en cada una de las referencias desarrolladas en el apartado 4 del presente documento. En cada una de las fases de intervención, la fotogrametría ligada a las nuevas tecnologías supone, aplicadas de forma ordenada, organizada y compatible, un punto diferenciador frente a los sistemas tradicionales de trabajo.





Con este repaso, encuadrado en tecnologías aplicadas al patrimonio histórico se demuestra la importancia de esta disciplina, sus oportunidades y las propensiones de cara al futuro más próximo. La adhesión de las nuevas tecnologías y la representación gráfica han alcanzado un recurso idóneo de transformar al patrimonio cultural en un lugar absolutamente didáctico, abierto e interactivo a cualquier usuario.

Cada una de las opciones que se reseñan a continuación ha demostrado ser certera en el mundo de la transmisión de contenidos (figura 102), en este caso, de modelos bi/tridimensionales vinculados con el patrimonio. Se ha pretendido que las posibilidades descritas mostrasen una interacción ordenador-usuario natural e intuitiva.

Ya en la Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, en 1972, se subraya la importancia de ampliar el aprecio y respeto por el patrimonio cultural a través de la educación (UNESCO, 2006). En el desarrollo de los siguientes

Figura 102. Posibilidades generales de aplicación en torno a un modelo tridimensional generado por fotogrametría. Fuente: Autor.

apartados, queda justificado y verificado que las técnicas descritas están emparentadas tanto con los modelos tridimensionales, como con su difusión y la interactividad de contenidos resultante, empleando, en la gran mayoría de los casos, la educación y desarrollo cultural como cimientos.

### **3.4.1. Elaboración de modelos 3D fotorrealistas**

Los modelos tridimensionales son cada vez más demandados en fases de documentación del patrimonio cultural pues permiten analizar formas y dimensiones, generar reconstrucciones de escenarios y la posibilidad de estudiar variaciones geométricas antes, durante y/o posteriormente a la realización de los trabajos de conservación.

Tras los procedimientos de edición, escalado y/o georreferenciación del modelo poligonal alcanzado tras los flujos de trabajo y edición, se obtiene, dentro de los límites de tolerancia preestablecidos y los límites de resolución (figuras 103 y 104) de equipos y/o necesidades, una copia, desde la perspectiva geométrica o cuantitativa, prácticamente análoga al original, y, por lo tanto, en lo referente a la representación, dimensiones, morfología y proporciones.

Dado que el proceso de restitución superficial no puede garantizar la restitución fidedigna de esta, pues posee un número limitado de puntos, no nos queda más que, una vez localizados los puntos más representativos para definir el objeto y sus detalles, segmentarlos y convertirlos en una superficie poligonal.

Establecido el rango espacial, queda por precisar entonces aquello que hace referencia al aspecto atributivo o cualitativo, el aspecto sensorial, es decir, el conocimiento de si, lo generado con físico semejante al real, es capaz de comportarse, manipularse y/o entenderse de igual forma frente a la incisión superficial, por ejemplo, de haces luminosos. Esta propiedad, que habitualmente se reduce a una textura superficial, encierra detalles concernientes a la geometría exterior a escala detallada.



Figura 103 (superior) y figura 104 (inferior). Respectivamente: Comparativa entre imagen real y recreación tridimensional fotorrealística en alta resolución generada con fotogrametría desde la misma perspectiva. Aljibe del Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

### 3.4.2. Representación de las plantas, alzados y secciones

Alcanzada ya una representación perfectamente apurada en torno a un modelo totalmente definido es muy común que se considere acabado el trabajo de edición sobre el software fotogramétrico.

Al disponer ya del modelo tridimensional y su textura anexa es posible realizar secciones que puedan ser interesantes para el estudio o las necesidades del trabajo y que, después, se puedan analizar individualmente pues estas, por otro lado exportables, pueden ser objeto de análisis métrico.

Además del formato más lógico y común en el que la imagen es guardada, directamente, en formato .tiff, .png o .jpeg de gran formato (figura 105) e impresionante resolución, las ya nombradas secciones verticales u horizontales del bien patrimonial (pues no olvidemos que trabajamos con un modelo tridimensional como material de partida) podremos generar las consecuentes vistas laterales, posteriores, superiores, inferiores y anteriores logrando así, en nivel bidimensional,

Figura 105. Panorámica de fachada cubierta para labores de restauración de lona de PVC impresa con ortofoto generada por fotogrametría a escala real 1:1. Fachada principal del edificio histórico Palacio Almudí, Murcia. Fuente: Autor.



conocer al patrimonio en toda su extensión y con validez, en todo caso, métrica (figura 107).

Ante la extendida y generalizada tendencia de nuestro panorama profesional a resistirse a desechar la planimetría más tradicional y artesanal, reconocida como descripción gráfica manual y esbozada por medios mecánicos o manuales donde no tenemos más que una forma de representación lineal (resultado de un trabajo de síntesis a partir del modelo real), ya coexisten con más frecuencia con los productos más actuales como pueden ser las ortofotografías (figura 106) o modelos digitales.

El término de fotogrametría digital, al que hacemos referencia por aquellas metodologías y técnicas que nos confieren la posibilidad de conseguir mediciones a partir de imágenes, es aquí, con la generación de ortofotos, otro ventajoso instrumento de documentación que, hasta su reducción de costes, técnicas y complejidad en 1993 y con la salida al mercado del primer programa informático que dotaba al usuario de posibilidades para confeccionar, con medios económicos como una cámara fotográfica digital precalibrada, un ordenador y un software específico, conseguir su propia estación fotogramétrica.



Dentro de Agisoft tendremos la posibilidad de hacer uso, dentro de su flujo de trabajo, de un agregado dedicado, en exclusiva, a la obtención de este tipo de planimetrías. Este, llamado “Crear Ortomosaico”, nos deriva una ventana emergente dentro de la cual podremos exportar las imágenes seleccionando si queremos operar con las vistas de proyección (XY, superior o inferior; XZ, delantero o posterior; YZ, derecha e izquierda) o emplear un sistema geográfico así como permitir tratamientos sobre la textura generada como la corrección de color o el relleno de agujeros en torno a las posibilidades de modo de mezcla mosaico, promedio o deshabilitado.

Acto seguido y ya en la pestaña de archivo, Photoscan nos brinda la posibilidad de exportar el fichero bidimensional a diferentes formatos de imagen como .jpeg, .png, .tiff entre otros más específicos (.kmz de Google Earth, Google Maps Tiles, MapBoxTiles de OpenStreetMap o World Wind Tiles).

### 3.4.3. Realidad aumentada

Por definición, realidad aumentada es el término que se emplea para definir una perspectiva de un ecosistema dentro del mundo real donde los elementos



Figura 106 (superior). Ortofotografía de la fachada principal del edificio histórico Palacio Almudí, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 107 (derecha). Detalle de andamiaje y fachada de lona de PVC impresa con ortofoto generada por fotogrametría a escala real 1:1. Fachada principal del edificio histórico Palacio Almudí, Murcia. Fuente: Autor.



ferrovial  
CONSTRUCCIÓN

ANDALUCÍA  
MONTAJE, ALQUILER Y VENTA  
TEL: 057 668 244

A  
CENTRO DE ARTES  
PALACIO ALMUÑI  
AYUNTAMIENTO DE MURCIA

AYUNTAMIENTO DE MURCIA  
RESERVA DE FOMENTO  
PACIFICANDO ASOCIACIÓN

ferrovial

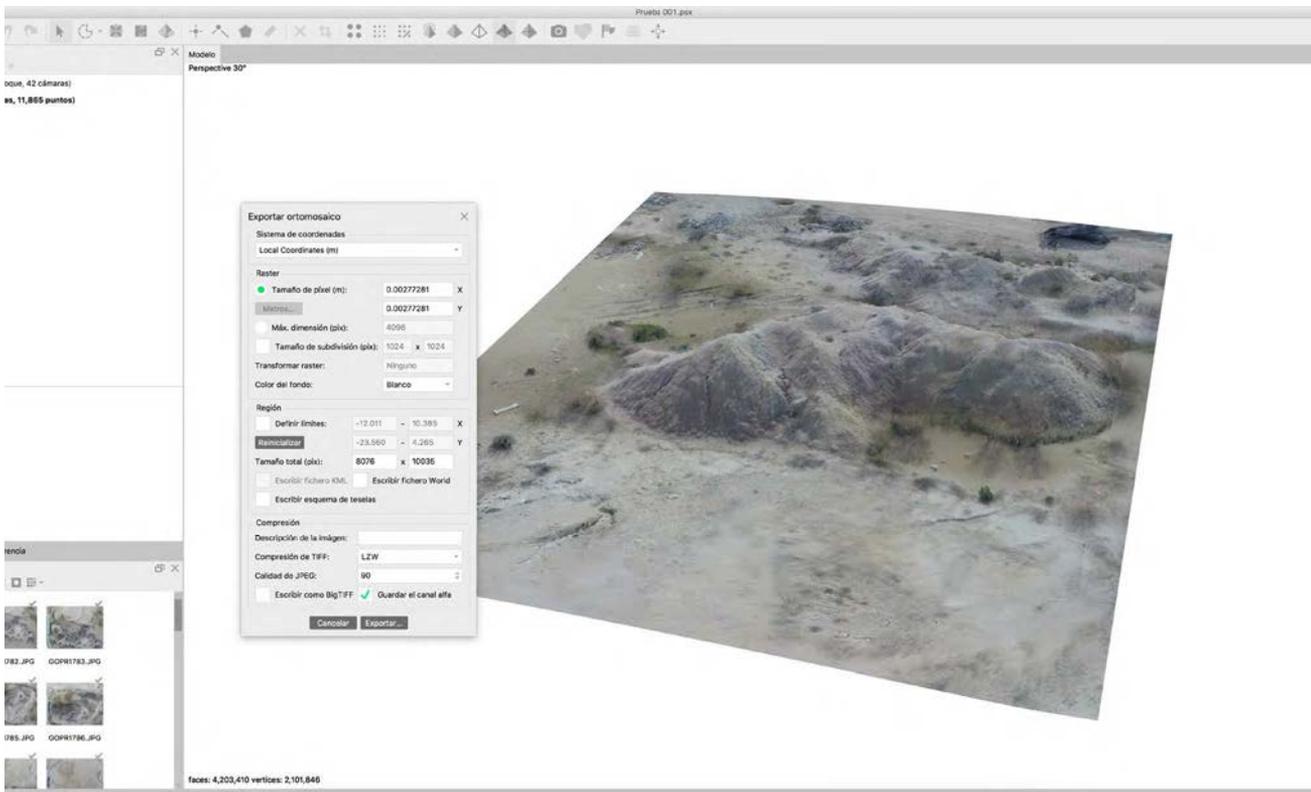
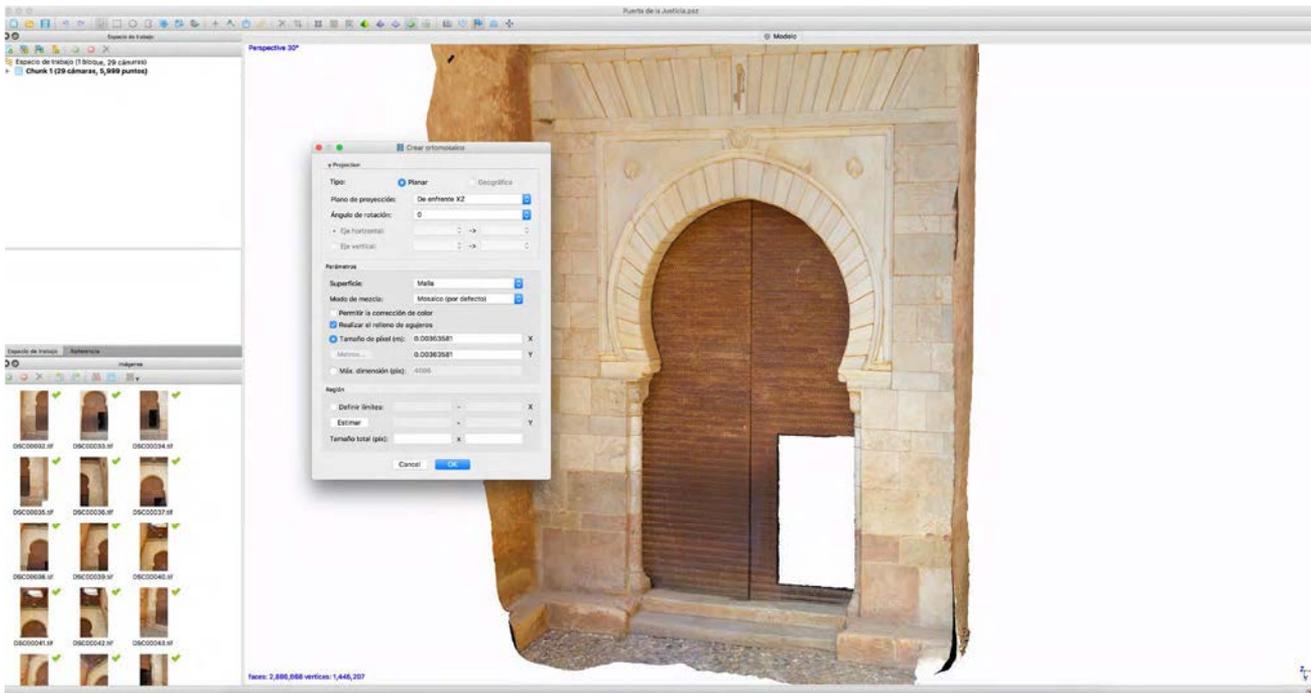


Figura 108 (superior). Espacio de trabajo en PhotoScan y ventanas emergentes antes de exportar las ortofotografías. Zona exterior de la Puerta de la Justicia, Alhambra, Granada. Figura 109 (inferior). Tierras de terraplenado tras excavación en yacimiento arqueológico. Bayyana , Almería. Fuente: Autor.

de ambos se combinan creando una realidad mixta en tiempo real (figura 108 y 109).

Fue Tom Caudell quien bautizó esta técnica y Ronald Azuma el primero en definirla dentro de “A survey of augmented reality” (Azuma, 1997), he instauraba que un sistema RA es aquel que:

- Armoniza la realidad con lo virtual.
- Es participativo en tiempo real.
- Se establece y desarrolla en las tres dimensiones del espacio.

Ante estas posibilidades se considera justo el empleo de “aumentada” puesto que nos topamos con una tecnología que extiende la percepción humana pues despliega la realidad física en todas sus direcciones para facilitar así la captación de determinados modelos que, a veces, no son perceptibles por los sentidos.

La evolución exponencial en la última década de la realidad aumentada (RA) ha estado íntimamente ligada a la mejora de equipos y capacidades de las nuevas tecnologías. Esta técnica, ajena en cuanto a posibilidades, al software fotogramétrico de referencia empleado a lo largo de la presente tesis, desemboca en una amplia lista de aplicaciones en la que resulta difícil generar una crónica de modeladores geométricos afines a esta práctica. Sin embargo, se facilitan aquí unas recomendaciones generales para encaminar proyectos dentro de un horizonte lleno de posibilidades y en permanente movimiento.

La realidad aumentada augura una nueva técnica de visita y reconocimiento del patrimonio cultural, mucho más avanzada que la que presenta a día de hoy teniendo en cuenta su brillante evolución, y confirma ser una gran herramienta de transmisión cultural, espectacular, flexible y comprensible valiéndose de una sencilla y viable sistemática.

Recapitulando, podemos definirla como un instrumento de gran proyección (figura 110), adaptado a las necesidades del usuario y que facilita las posibilidades de difusión para una más que satisfactoria puesta en valor del patrimonio. Este precisará de un dispositivo para captar la información del mundo real, de un equipo y software anexo para procesar la figura real y añadirle información

virtual, de un artefacto para conformar imágenes sintéticas y, por último, de una pantalla para proyectar el resultado conseguido.

Llegados a este punto podremos encontrarnos con dos tipos de “salidas” proyectivas: De un lado las basadas en los displays ópticos, como pueden ser las lentes reflectantes<sup>15</sup> y, por otro, aquellas que se apoyan en monitores externos<sup>16</sup> y emplean el vídeo. En el primero de los casos, los gráficos concebidos por ordenador son incorporados a la visión del usuario (Google Glass) y, en el segundo, la imagen irreal es sobrepuesta a un vídeo del entorno real capturado (Azuma, 1997).

Lo que hasta hace unos años era una técnica experimental que requería para su uso de un entorno tecnológico apoyado en expertos y científicos es ya una realidad accesible que está disponible para cualquier usuario a través de teléfonos inteligentes, consolas, tabletas, equipos informáticos en general e, incluso, a tra-

<sup>15</sup> Son lentes parcialmente transparentes. Las imágenes virtuales se reflejan en las lentes pero en todo momento se sigue percibiendo la realidad del entorno.

<sup>16</sup> Se apoyan en una cámara de vídeo que graba el entorno real y reproduce en un monitor la unión de lo captado y la imagen virtual.

Figura 110. Ejemplo de aplicación de la realidad aumentada en entornos comerciales. Logotipo del Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia proyectado virtualmente sobre la fachada de las instalaciones del COATIEMU. Fuente: Autor.



vés de utensilios creados con esta finalidad concreta.

El uso de este recurso para el patrimonio se vale, generalmente, de dispositivos móviles como teléfonos o tabletas por las posibilidades internas de posicionamiento mediante señal GPS, acelerómetros, compases o brújulas y giróscopos e inclinómetros que permiten, respectivamente, al equipo conocer ubicaciones, desplazamientos, seguimiento y dirección de mira llevados a cabo por el usuario.

Además, en términos educativos y de difusión de bienes patrimoniales, la realidad aumentada es la tecnología idónea para contribuir significativamente en la forma en que se aprecia y accede a la realidad por parte de los estudiantes (figura 111) proveyendo prácticas de aprendizaje más enriquecedoras puesto que asiste a la docencia con nuevos métodos de interacción con la realidad a través de “fundas” digitales de documentación que amplifican, perfeccionan y convierten la información inicial.

Figura 111. Demostración de muestras arquitectónicas y arqueológicas en realidad aumentada a diferentes rangos educativos y sociales con la intención de documentar, difundir y valorizar el patrimonio con esta herramienta. Semana de la Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia 2016. Fuente: Autor



En cierto modo, prácticamente cualquier disciplina relacionada con la cirugía, el diseño industrial, las ciencias aplicadas, la arqueología, la museología y el patrimonio pueden estar dentro de las posibilidades de aplicación de la realidad aumentada.

Tras varias experiencias docentes durante el trascurso de la tesis en diferentes rangos de aprendizaje existe un denominador común: La realidad aumentada genera lazos entre el entorno real y la situación educativa en la que participan los

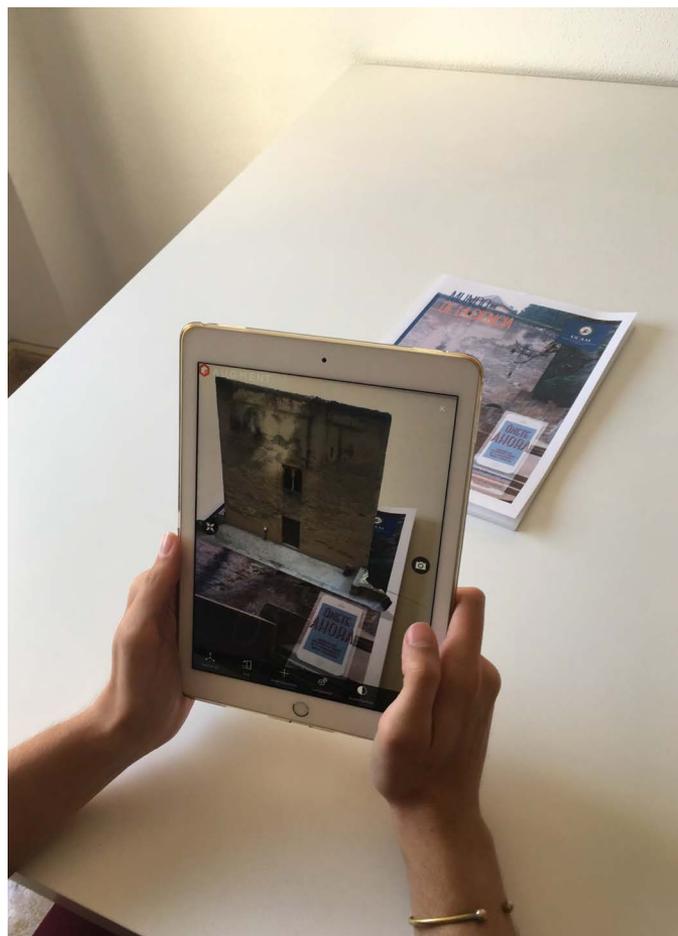
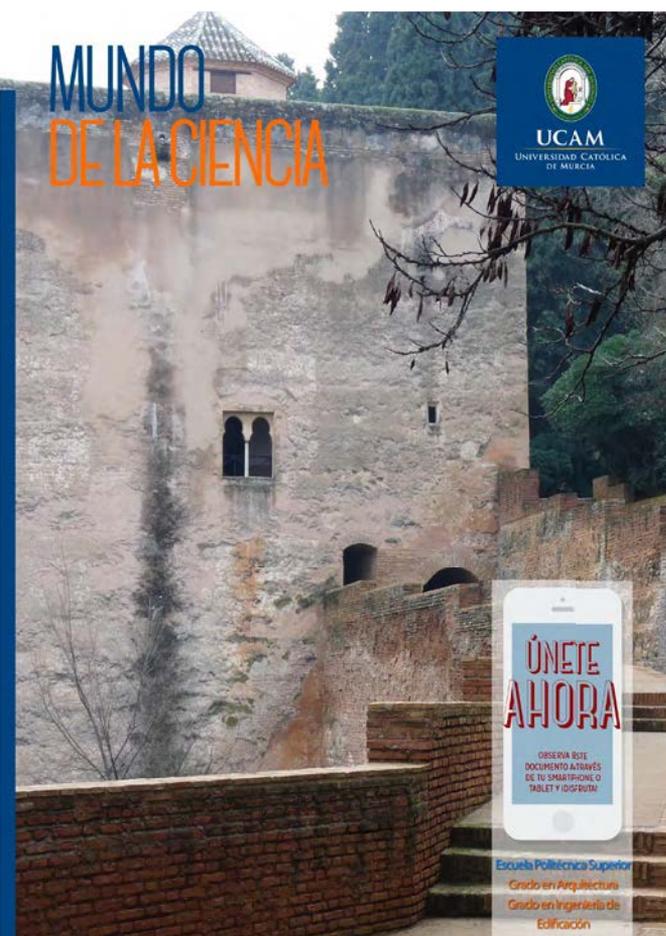


Figura 112 (izquierda). Marcador de referencia basado en imágenes patrón. Torre de las Infantas, Alhambra (Granada). Software empleado en ambos casos: Augment<sup>32</sup>. Fuente: Autor.

Figura 113 (derecha). Demostración de modelo 3D de la Torre de las Infantas, Alhambra (Granada) a través de la aplicación de realidad virtual. Software empleado en ambos casos: Augment. Fuente: Autor.

<sup>32</sup> <http://www.augment.com/es/>.

estudiantes, proporcionando experiencias más contextualizadas, enriquecedoras y significativas. El empleo en emplazamientos históricos o museos, por ejemplo, puede trasladar a los estudiantes y/o visitantes a cuidadas escenas de reconstrucción de dicha localización o permitirnos dar un salto arqueológico, gráfico o histórico convirtiendo el lugar en una zona interactiva de autoaprendizaje.

Derivadas de estas experiencias se pueden alcanzar las siguientes conclusiones:

- Provee métodos que simplifican el aprendizaje y entendimiento de los usuarios.
- Posibilita un aprendizaje más envolvente, ya que impulsa variaciones en la percepción e interacción del usuario y el patrimonio.
- Permite hacer uso de animaciones que “interactúen” con el usuario.
- Desarrolla gráficamente aquello que se ha expuesto en clase haciendo partícipe a los usuarios.

El empleo de la realidad aumentada en ámbitos relacionados con el patrimonio permite sumergirse en el entorno, el fenómeno o el modelo pudiendo así hacer sentir al usuario que forma parte de la “realidad ficticia” que lo rodea.

Entre las formas de operar con la realidad aumentada tendremos:

- a. A través de tracker-less donde el objeto virtual se apoya en rasgos naturales para el reconocimiento e interacción.
- b. A través de marcadores que, como bien indica su nombre, requieren de plataformas o sellos como medio para apuntalar lo virtual (figuras 112 y 113).

a. Tracker-Less.

Le constante evolución en potencia, rendimiento, incremento y mejora de pantalla de los actuales dispositivos móviles y tabletas confieren a estos elementos en unos eficaces utensilios para los sistemas de realidad aumentada. La brillante cámara con la que cuentan los móviles de gama media/alta y sus excelentes rangos focales permiten encuadrar amplios campos visuales que, a través de otros dispositivos, son “modificados” para incrustar objetos digitales dentro del mundo real dando la sensación de que ambos están combinados.

Aquellas aplicaciones que permiten conseguir esta sensación sin necesidad de marcadores emplean los datos obtenidos bien de su geoposicionamiento a través del GPS integrado en el dispositivo móvil, de la brújula o por medio de sistemas de reconocimiento de imágenes, que reconocen y emplean aquello que es captado por la cámara con una biblioteca de imágenes previas para su correlación. Cuando el usuario apunta con su cámara a un patrón-imagen del entorno real, el dispositivo asocia el entorno virtual y sobre-impresiona datos formativos relevantes y previamente configurados en los puntos de la pantalla preestablecidos.

Las aplicaciones que no requieren de marcadores posibilitan un empleo más versátil de esta realidad puesto que funcionan en todas partes, sin que, necesariamente, se requiera o disponga de un etiquetado especial o un punto de referencia asociado. Todas estas cualidades lo hacen útil en aplicaciones ligadas al patrimonio pues no precisan de alteraciones en el medio para su empleo.

Además de los dispositivos cotidianos, grandes empresas como Google, Indegogo, Optinvent o Vergancia Labs presentan los conocidos como displays ópticos de nombres comerciales Google Glass, Ion Glasses, ORA-S y Epiphany Eyewear respectivamente. Estos, de montura en forma de casco (Head-mounted Display, HMD), tienen como principal propósito mostrar de forma más natural, pues no requieren elevar manual y puntualmente el terminal móvil a la altura de los ojos, a través de sus lentes transparentes información de muy diversa índole.

Entre las principales aplicaciones del mercado que emplean este sistema de referenciado encontramos a Layar, Tagwhat, aroundMe o Zugstar. Cada una de estas presenta unas peculiaridades y unas semejanzas entre las que destacamos la posibilidad de añadir críticas, publicidad, puntuaciones o aclaraciones virtuales a través de etiquetas asignadas a unas coordenadas definidas; la opción de añadir modelos tridimensionales personales debidamente geolocalizados, ofrecen integración con las principales redes sociales (Facebook, Twitter, Maps, Instagram o YouTube) y, por supuesto, la posibilidad de compartir con amigos, familiares o compañeros modelos propios o ajenos.

En el entorno internacional encontramos proyectos como Augmented Reality Based Cultural Heritage On-site Guide (Archeoguide) desarrollado por Fraun-



Figura 114. Collage demostración de la visita virtual en yacimiento arqueológico. Parque arqueológico de Olympia. Fuente: Fraunhofer Institute of Computer Graphisc.

hofer Institute of Computer Graphisc amparado dentro de la Comisión Europea CORDIS<sup>33</sup>. Con este proyecto se muestra a los visitantes (figura 114) el parque arqueológico de Olympia (Grecia) y las reconstrucciones tridimensionales de sus estructuras, ya inexistentes, en tiempo real y a través de equipos HMD. Durante estas visitas los usuarios sólo van equipados con unos equipos de mano que permiten a las gafas conocer exactamente la posición y orientación (Toledo, Garrigós, Martínez, Ferrández, y Toledo-Moreo, 2010).

<sup>33</sup> Community Research and Development Information Service).

Otro ejemplo sería el desarrollado en el Museo de Londres, en 2010, que permite, por medio de una aplicación creada para ello, preinstalada en el terminal de los visitantes y ayudándose de los datos de geolocalización del teléfono o tableta, mostrar puntos de interés al orientar el teléfono a determinadas posiciones desplegando la posibilidad de contrastar imágenes de la antigua Londres con las del espacio real actual cediendo información extra relacionada con hechos o sucesos históricos del lugar.

b. Marcadores.

Uno de los recursos más empleados en patrimonio cultural cuando hablamos de realidad aumentada son los marcadores (figura 115). Presentan una interfaz en la actualidad fácilmente reconocible pues, con verlos, se denota la existencia de información anexa y generan la sensación de “elemento interactivo”. Esto es así por su existencia en gran variedad de usos, medios y existencias en torno a la vida cotidiana desde la implantación total de los Smartphone en nuestra sociedad. Es por ello que se considera un medio económico, imperecedero (que no eterno) y útil en entornos museísticos, informativos y educativos.

Estos sistemas se basan en el uso de aplicaciones preinstaladas en dispositivos móviles que, mediante el examen y reconocimiento de patrones, comúnmente llamados marcadores, se superpone un modelo tridimensional y generado digitalmente mostrado en la pantalla y que da la sensación de estar encima del entorno real. Es decir, mezclan la imagen real con lo generado virtualmente de modo que origina un objeto o imagen binaria vinculados, en dos o tres dimensiones, sobre el marcador.

Estos programas se nutren de un algoritmo eficaz y de bases de datos preparadas con anterioridad para evitar tiempos de carga excesivos y ejecución de desplazamientos entrecortadas. Al reconocer la orientación y posición de la cámara en torno al marcador genera el objeto que, previamente se ha vinculado y concretado tanto en dimensión como orientación.

Si bien es una herramienta excelente en el ámbito educativo, pues vincula aprendizaje y entretenimiento (de ahí su sobrenombre de entretenimiento educativo o edutainment: education and entertainment), es llamativa y útil pues conforma una nueva manera de investigar virtualmente un modelo como si se tratara de



Figura 115. Uso de marcadores como apoyo al levantamiento de modelos tridimensionales relacionados con el patrimonio arqueológico. Murete en fase de excavación. Yacimiento arqueológico de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

una realidad y esgrime posibilidades para el diseño de actividades que fusionan la educación y el recreo. Aun así, manifiesta algunas carencias como bajas resoluciones en los modelos concebidos, limitaciones espaciales, pues si el modelo sale de pantalla desaparece o errores puntuales en los que la orientación del modelo generado “baila” o “vibra” sin sentido alguno.

Con todo esto se logra que el usuario final logre percibir la volumetría y concepción del bien patrimonial sobre el que se aplica la técnica de una forma sencilla en el caso de no tener la posibilidad de inspeccionarlo o visitarlo in-situ o de transmitir más información sobre el objeto anexo al marcador.

Este recurso invita al visitante a ser el protagonista en la creación por la interacción y el espectacular resultado que se obtiene. Es digno de ser empleado en investigaciones, como prototipo para una instalación de exposiciones, en el ámbito museístico, en temas de difusión, en propuestas de intervención, en torno a la documentación o proyectos de rehabilitación, planes de conservación preventiva, visitas guiada con medios interactivos, etc., pues ayuda a erigir, manejar, presentar y administrar, objetos culturales digitalizados en exhibiciones virtuales que en otras circunstancias hubieran aparecido, en el mejor de los casos, presentadas en vitrinas.

Entre las muestras más reseñables del uso de este sistema en cuestiones vinculadas a la educación y el patrimonio, se destaca la obra impresa interactiva de Arpa-Solutions, en 2007, sobre los monumentos Andaluces o la iniciativa del Museo de Mataró, en 2013, que ampliaba la información sobre las obras publicadas sólo con pasar teléfonos o tabletas por los QR preconfigurados al efecto. Este acoge información virtual combinada con información convencional.

El empleo de estos mecanismos es poco costoso ya que, únicamente, precisan de una cámara, que puede ser la de prácticamente cualquier dispositivo móvil del mercado; un programa, preinstalado en aquel y un marcador al que se le haya establecido una información virtual. Este motivo, entre todos los previamente nombrados, ha sido quizá el que más haya contribuido a la exponencial dispersión de instalaciones con marcadores en exposiciones temporales, centros de interpretación e, incluso, museos.

En cuanto a las plataformas web donde podemos visualizar contenidos por reconocimiento de imagen o marcadores destacan Layar, Augment, Daqri (desactivada al público en general en abril de 2016), Aurasma o Visuartech; en el marco del software de escritorio por tracking están Buildar, Aumentaty, Armedia o Metaio (desactivado al público en junio de 2015) y en torno al SDK<sup>34</sup> podemos destacar ARToolKit o Vuforia.

Generalmente estos programas barajan números limitados de polígonos (de en torno a 200.000) por lo que, además de tener en cuenta que el eje de coordenadas desde el cual parte el modelo tridimensional es al centro del marcador, se requiere el uso de modelos más simples de forma que no se reduzca la posibilidad de respuesta de desplazamiento. Aun así, y pese a esa restricción, se acepta el escalado, desplazamiento y orientación del modelo.

Se puede concluir diciendo que los beneficios de este recurso sustituye al que, hasta hace muy poco, era la mejor forma de mostrar ideas, conceptualizar volúmenes y facilitar la manipulación, la maqueta física que aunque, actualmente, y como veremos en el apartado siguiente, las impresoras 3D consigan ya producir

---

<sup>34</sup> Hace referencia a un kit de desarrollo de software o SDK (software development kit) que generalmente se apoya en un conjunto de herramientas para el desarrollo de software que permiten al programador crear aplicaciones como paquetes de software, frameworks, plataformas de hardware, videoconsolas, computadoras, sistemas operativos u otros.

el mismo nivel de realismo geométrico (que no material).

#### 3.4.4. Realidad virtual

Comenzamos destacando la importancia de no confundir la realidad aumentada con la realidad virtual. La realidad virtual (RV) o virtual reality se define, simplificada, como un entorno generado por ordenador, tridimensional e interactivo en el que se inserta a la persona en un entorno artificial, resultando este aislado de su entorno real.

Estos entornos virtuales simulan escenas 3D de alta calidad para dar un nivel de realismo en el que el usuario siente estar inmerso (figura 116) y puede intervenir en tiempo real. Por ello, la principal diferencia entre la RV y RA, es que en la segunda, no se suplanta la realidad física, sino que se superponen datos irreales al mundo real y, el usuario continúa sabiendo que sucede a su alrededor. Se trata pues de forma diferente el mundo real.

En cualquier caso, podremos distinguir dos tipos de realidad virtual:

- Simulación de un entorno real. Generalmente empleados en aplicaciones de aprendizaje, museísticas o de entrenamiento.



Figura 116. Uso didáctico de las gafas Microsoft HoloLens para la difusión del patrimonio arquitectónico generado por fotogrametría. Fuente: Pablo Gilabert Boronat.

- Simulación un entorno únicamente artificial. Empleado en campos como los videojuegos, el arte y el entretenimiento. En esta materia podríamos decir que nos encontramos en entornos virtuales (EV) o virtual environment obviando así el término realidad.

Puesto que nuestra aplicación fotogramétrica produce modelos precisos y detallados de la realidad (figura 117), sólo el primero de los apartados anteriormente descritos es de interés en el desarrollo de esta investigación dejando así de lado, al menos para esta tesis y no para investigaciones derivadas, el empleo de procesos cuyo objetivo sea simplemente la visualización de modelos tridimensionales completamente computarizados (shape-from-motion).

En respuesta a todo este tipo de actuaciones, y ligadas a ellas, se pueden derivar estímulos sensoriales de origen auditivo, gráfico, olfativo, etc. Dado el grado de inmersión (figuras 118 y 119) que experimentan los usuarios cuando se usa esta tecnología y puesto que incluso pueden interactuar, con el bien patrimonial u otros usuarios, se logra un grado de integración que les permite entrar física y psicológicamente en esas realidades (figura 120).

Entre las aplicaciones comerciales para empleo de esta técnica se encuentra en cabeza (por su amplio rango de implantación, economicidad de medios inmersivos y firmeza de marca) Google. Con CardBoard<sup>35</sup>, Google, aprovecha el potencial y los modelos de múltiples herramientas, de diferentes marcas<sup>206</sup>, con la intención final de hacer, a través de un equipo Head Mounted Display confeccionado con una caja de cartón y un terminal provisto de una pantalla (como un Smartphone), al usuario participe de una realidad alternativa. En otro lado, y haciendo uso de aplicaciones más elaboradas, específicas y equipos más caros está Oculus Rift<sup>37</sup>.

Figura 117 (derecha). Malla poligonal tridimensional con validez métrica en escala de colores RGB generado por fotogrametría. Interior de la Sala de Dos Hermanas, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

---

<sup>35</sup> Con Google Cardboard se transforma cualquier Smartphone, con Android o iOS, en una plataforma de realidad virtual por menos de 5 €. Con apenas un cartón plegable recortado y 2 lentes, es posible montar el teléfono inteligente y aprovechar las aplicaciones de Android RV.

<sup>36</sup> Roundme, GoPro VR, Within VR, Cardboard, NYT VR, Ascape 360°, Orbulus, VR YouTube, Trinus, Samsung VR, etc.

<sup>37</sup> Oculus Rift es un casco de realidad virtual que está siendo desarrollado por Oculus VR. La versión para el consumidor se lanzó al mercado en 2016 con un precio de 699€ en Europa.



### 3.4.5. Impresión 3D

En la actualidad la fotogrametría o el escaneo 3D están íntimamente ligados a la impresión 3d. La impresión tridimensional está intachablemente ligada al mundo de la arquitectura y el patrimonio pues, obtener una maqueta o una réplica de edificios, restos arqueológicos u objetos es mucho más rápido y económico con este medio que con las técnicas habituales. Actualmente, se están desarrollando proyectos donde la impresión ligada a la fotogrametría son transcendentales, un ejemplo de esto es en la rama de la anastilosis virtual (2.2.) pues por medio de la reproducción tridimensional de piezas o porciones de restos (arqueológicos o de otro origen patrimonial) y su impresión en 3D, se puede recomponer una pieza y recrear aquellas ya inexistentes para reproducir y transcribir un objeto tal y como fue.

Simplemente, y ya dentro del campo de la catalogación del patrimonio, el hecho de generar prototipos de réplicas del patrimonio, es una evolución en la metodología para conocer el estado actual en un tiempo concreto.

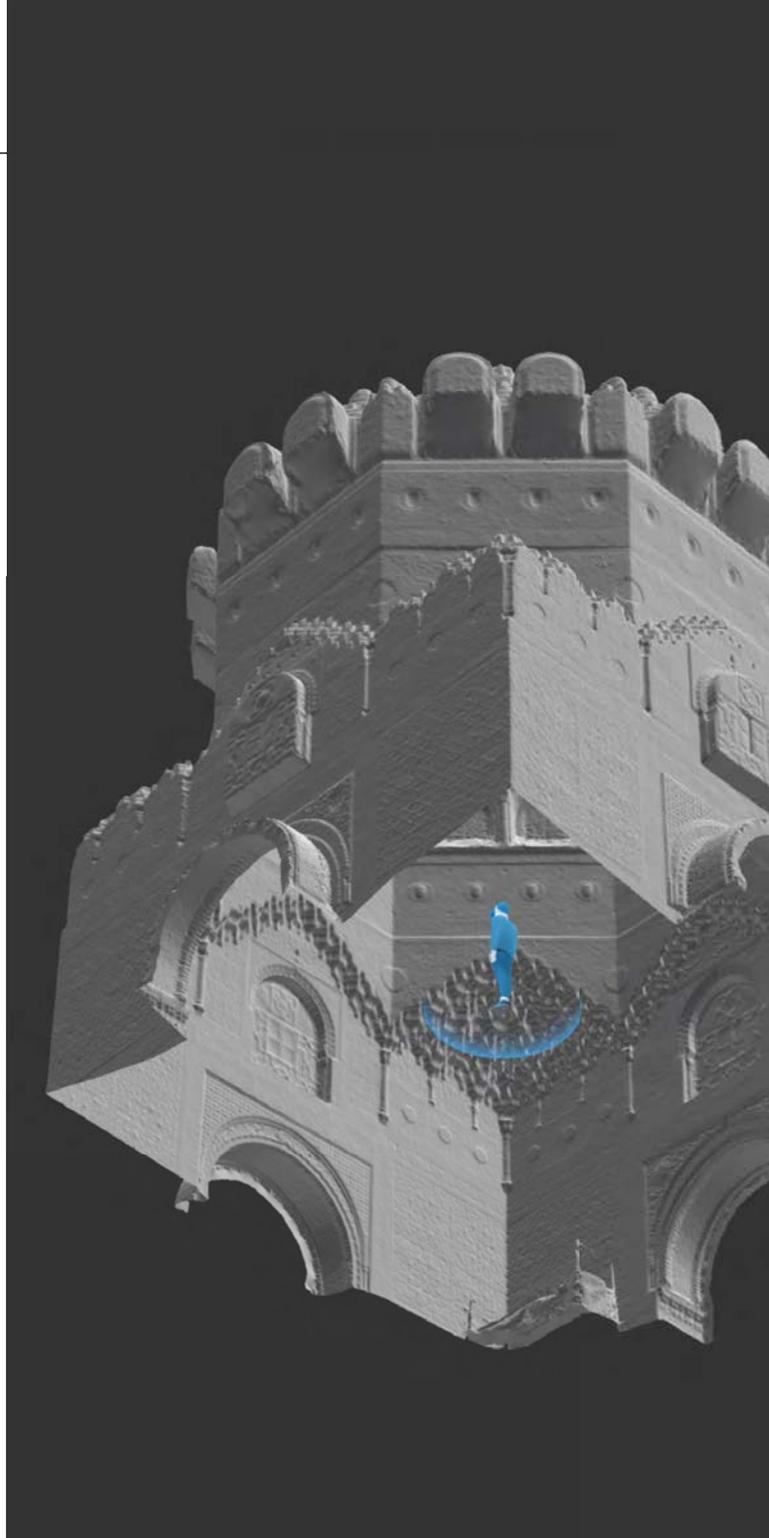


Figura 118. Modelo tridimensional generado por fotogrametría con el objetivo de hacer más accesible el patrimonio y como utensilio de apoyo a la investigación. Uso de la plataforma Sketchfab. Interior de la Sala de Dos Hermanas, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

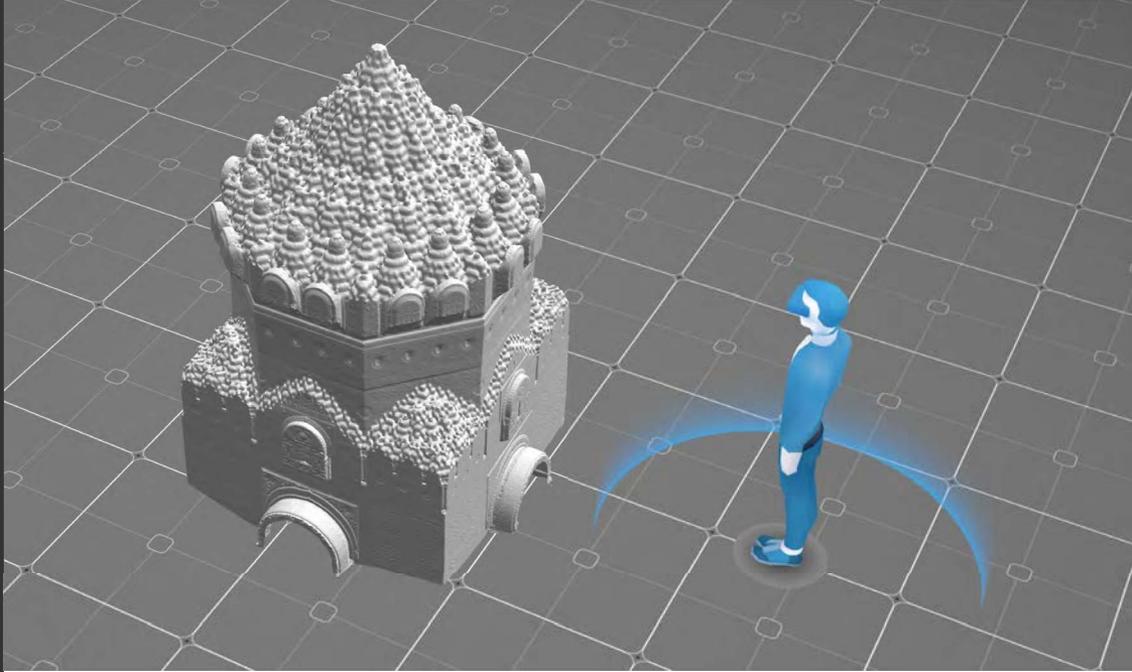


Figura 119 (superior izquierda). Diferente perspectiva de visualización del modelo tridimensional generado por fotogrametría con el objetivo de hacer más accesible el patrimonio y como utensilio de apoyo a la investigación. Uso de la plataforma Sketchfab. Interior de la Sala de Dos Hermanas, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 120 (inferior izquierda). Imagen percibida por el usuario con el dispositivo móvil integrado en el interior de las gafas de realidad virtual. Aljibe del Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Por otro lado, y ya en torno a la construcción, podemos subrayar su uso en la confección de maquetas de edificios, terrenos, detalles constructivos, etc., y donde se pueden mostrar diseños con una finalidad profesional, educativa o difusora en general pues no debemos olvidar que con las maquetas se aporta más información y se facilita la comprensión del proyecto y la volumetría del modelo que los tradicionales planos en 2D.

Desde el inicio de la impresión 3D en 1976 por inyección de tinta y hasta nuestros días la tecnología ha progresado exponencialmente, pasando de la impresión con tinta a aquella en la que se emplean materiales. Por ello, tendremos tecnologías de impresión por extrusión, hilado, granulado, laminado o fotoquímicos donde cada uno de los métodos tiene unas ventajas e inconvenientes propios. Este abril de 2016, Stratasys, dio un paso más en torno a estos equipos diseñando una máquina (la J750) que está preparada para imprimir en 360.000 tonalidades y con hasta 6 materiales diferentes dotando de un realismo único (figura 121) a las piezas con ella impresas.



Figura 121. Recreación de cráneo a escala real generado por impresión 3D empleando materiales de diferentes tonalidades. Fuente: Stratasys.

El proceso de confección de réplicas de patrimonio es, tradicionalmente una labor desarrollada por organismos o entes públicos, empresas o museo, y no era una técnica común en centros escolares o viviendas particulares. Actualmente, y dada la gran variedad de impresoras presentes en el mercado, el precio de estas tecnologías que permiten realizar réplicas cercanas a la realidad y de una manera económica es ya un estándar. Los nuevos software tridimensionales basados en la recuperación a partir de fotografías y las impresoras 3D de bajo coste, permiten ejecutar prototipos del patrimonio a un coste muy inferior al habitual.

Estas réplicas, habitualmente, se emplean en el ámbito museístico para reemplazar o reparar (figura 122) a producción de este tipo de réplicas quedaba lega-

da a expertos de diferentes especialidades y se aplicaban procedimientos, medios y tecnologías complejos. Con la llegada de tecnologías de bajo coste ya es una realidad hacer ampliable el uso de estas técnicas de replicado en entornos educativos.

Entre los programas destacados dentro de esta rama están Blender, SketchUp, Autocad, SolidWorks, Maya, 3DSMax, Inventor, Zbrush, Cinema 4D, 123D Design, Rhinoceros, Modo, Meshmixer, LightWare, FreeCAD, Autodesk Remake, 3Dtin y un largo etcétera. Estos, generalmente asociados al modelado de piezas



Figura 122. Reconstrucción en Roma (Italia) de un alto relieve con impresión 3D del Museo Nacional de Palmira fruto de las labores de conservación del patrimonio destruido por el Estado Islámico. Fuente: Synchronetics.

tridimensionales, cuentan con soporte y herramientas de exportado y preparado de modelos 3D digitales del patrimonio escultórico. Disponiendo de tomas fotográficas, desarrollando un flujo de trabajo en fase de proceso de reconstrucción tridimensional es ya posible crear una réplica de una escultura a un coste que oscila en torno a 1 euro si disponemos de una impresora propia o de un coste de

entre 22 y 95 euros en materiales plásticos (los precios se disparan sustancialmente si se decide recurrir a materiales como acero inoxidable, bronce u otros). Por todo ello resolvemos que ni el coste, ni la dificultad industrial, suponen un obstáculo al empleo de estas réplicas en entornos educativos, museísticos o de proyecto.

La cardinal desventaja de estos métodos es la resolución vertical alcanzada pues, por norma, ronda los 90 micrómetros por capa impresa; la fragilidad de las piezas; tienen un aspecto arenoso; requieren de un proceso cuidadoso de soplado y limpieza para eliminar bordes y polvo y presentan colores apagados.

Entre los principales informes internacionales sobre educación podemos nombrar uno de especial relación a las tecnologías, convertido ya en un referente en el panorama Nacional: el "Informe Horizon". Este informe es presentado por el Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF<sup>38</sup>), dependiente del Ministerio de Educación y responsable de la integración de las TIC en la enseñanza (TICE), augura que la impresión 3D tenga un impacto en la educación en forma de hito en torno a 3-5 años<sup>39</sup> presentando como precedente su introducción, en torno al año 2000, a través de los centros de educación superior.

### 3.4.6. Entornos tridimensionales

Otro de los recursos en torno a la visualización 3D del patrimonio son los ambientes web. El diseño de un entorno tridimensional en base web provee un medio técnico orientado a la difusión del patrimonio cultural por su excelencia gráfica y métrica. Abren, desde cualquier navegador de internet y a cualquier estudio, investigador o usuario, cualquier levantamiento tridimensional en tiempo real y, además, consiente la gestión de la información documental sin la pérdida del intrínseco valor métrico del modelo. Es común que, en ocasiones, la labor científica en la recopilación de datos y posterior empleo de la información quede desequilibrada en el segmento relativo a la difusión, ya que se precisa de una documentación más simplificada, menos pesada y más universal. Con soluciones como esta, conseguimos erradicar, prácticamente de raíz, esta problemática.

---

<sup>38</sup> [<http://educalab.es/intef>].

<sup>39</sup> Resultados esperables de la integración de la Impresión 3D y las Tecnologías de Aprendizaje Adaptativo en torno al horizon K-12.

Para este fin, en la web, coexisten aplicaciones como Sketchfab, blend4web, 3D warehouse, TurboSquid 3D Models, p3d.in o Verold que han concurrido un avance muy importante e interesante a la creación de librerías de modelos 3D en la red. De otro lado, en formato offline, también disponemos de la posibilidad de compartir modelos tridimensionales en formatos de archivo estandarizados como el .pdf de Adobe. En cualquier caso, ambos sistemas viabilizan la exposición y demostración de trabajos al mundo, compartiendo modelos tridimensionales de forma interactiva y dotando a cualquier usuario de un instrumento simple y efectivo con el que manejar un modelo en tres dimensiones no quedando limitado a uso de fotografías o vídeos realizados a partir de este.



Figura 122. Espacio de trabajo de Sketchfab Labs Experiments para el tratamiento y uso de modelos tridimensionales. Fuente: Autor.

Entre las herramientas experimentales (figura 122) destacamos las avanzadas por webs como Sketchfab que ya permiten la carga de modelos y la medición de distancias entre dos puntos previamente preestablecidos.

En torno a la plataforma más potente en la actualidad en estos servicios, Sketchfab, estos modelos son observables desde cualquier navegador (Google Chrome, Firefox, Opera, Internet Explorer versión 11 y posteriores o Safari) sin ne-

cesidad de instalar ningún tipo de plugin adicional pues se basan en la tecnología WebGL<sup>40</sup> para poder observar los modelos.

Los modelos se pueden subir desde una cuenta gratuita, profesional o business donde el tamaño del modelo está limitado 50MB, 200 Mb o 500 Mb respectivamente con independencia del acceso ilimitado y gratuito de las tres versiones. Sketchfab es, además, compatible con una amplia gama de formatos de 3D<sup>41</sup> y permite la inclusión de nombres de proyecto, descripciones, texturas e, incluso, etiquetas de recorrido (figuras 123 y 124).

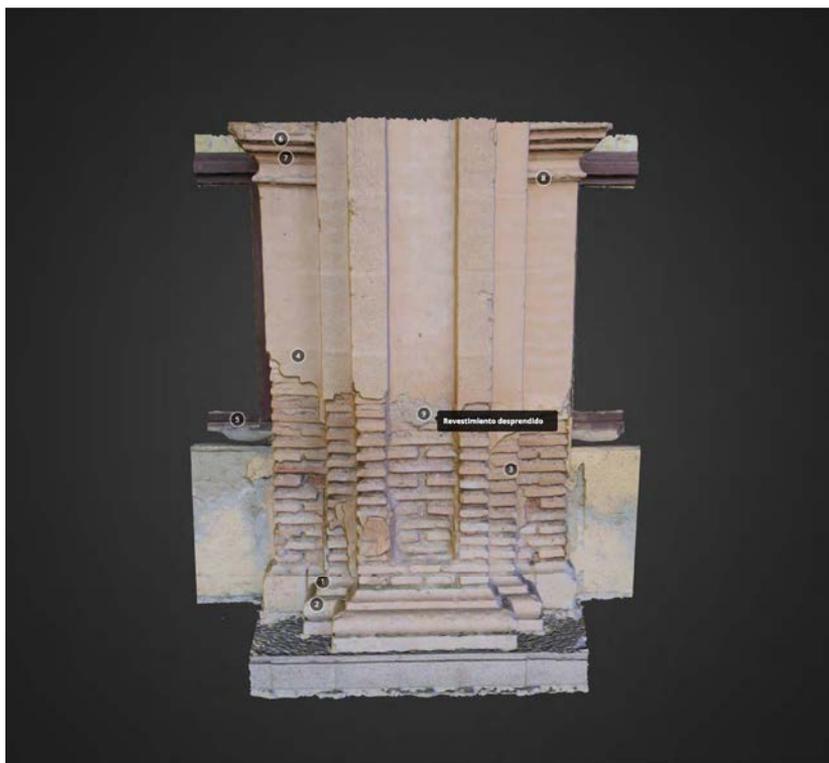


Figura 123 y figura 124. Respectivamente: Vista lateral y frontal. Modelo tridimensional generado por fotogrametría etiquetado con anotaciones históricas para facilitar su difusión social. Plataforma Sketchfab. Detalle interior del claustro del Monasterio de los Jerónimos, Guadalupe (Murcia). Fuente: Autor.

<sup>40</sup> Es una especificación estándar desarrollada para mostrar gráficos tridimensionales en navegadores web acelerando los modelos por hardware (GPU). Técnicamente es un API80 para javascript que permite usar la implementación nativa de OpenGL ES 2.0.

<sup>41</sup> 3DC point cloud (.3dc), 3DS (.3ds), ac3d (.ac), 3DC point cloud (.asc), Alembic (.abc), Blender (.blend), Quake (.bsp), Biovision Hierarchy (.bvh), Collada (.dae), Compressed Collada (.zae), Design Workshop (.dw), Design Web Format (.dwf), Drawing eXchange Format (.dxf), Autodesk filmbox (.fbx), OpenFlight (.flt), GL Transmission Format (.gltf, .glb), Open Inventor (.iv), osg (.ive), Google Earth (.kmz), LightWave (.lwo, .lws), Quake/Valve source engine (.md2), Quake/Valve source engine (.mdl), Kerbal Space Program (.mu, .craft), Alias Wavefront (.obj), GDAL vector format (.ogr), osg file format (.osg), osg binary (.osgb), osg ascii (.osgt), osg terrain (.osgtterrain), compressed osg (.osgtgz), osg export (.osgx), polygon file format (.ply), Mimesys (.q3d), Stereolithography (.sta, .stl), Terrapage format database (.txp), Valve source engine (.vpk), VRML (.wrl, .vrml), Compressed VRML (.wrz), DirectX (.x), Minecraft (.mc2obj, .dat), Initial Graphics Exchange Specification (.iges, .igs).

### 3.4.7. Animaciones y recorridos virtuales

Este apartado, referido a la difusión del patrimonio, comprende las características referentes a recorridos virtuales y animaciones. Al igual que en los apartados anteriores, se pretende, a nivel general, difundir el patrimonio haciendo uso de las nuevas tecnologías y la propagación mundial de las redes y, particularmente, discernir las ventajas de las animaciones y recorridos virtuales que permiten al usuario embarcarse en una experiencia en torno a escenarios interactivos que simulan la realidad.

En este tipo de experiencias, el “consumidor” se relaciona rápida, total e intuitivamente con el medio que le rodea e interactúa con modelos en alta resolución fieles a la realidad ayudando a conseguir un elemento diferente y de calado en la difusión del patrimonio cultural. El usuario percibe el espacio esférico de una manera absolutamente natural, tal como es en la realidad, con la impresión de estar en aquel lugar.

Generalmente, estas técnicas se basan en motores de renderizado íntimamente ligados al del mundo de los videojuegos y contribuyen con su experiencia con herramientas que admiten, entre otras, la posibilidad de desplazarnos libremente en un escenario e interactuar con aquellos elementos u objetos contenidos en este espacio virtual.

Entre los principales motores de juegos empleados en la visualización del patrimonio podemos destacar Ogre3D, Tourweaver 7, OpenSG o Unity3D. Esta tecnología es ya una realidad dentro de la representación y entendimiento por “contacto directo” con monumentos, yacimientos arqueológicos, objetos escultóricos y un largo etcétera.

Con este tipo de herramientas conseguiremos ver en primera persona la metodología constructiva de un determinado elemento arquitectónico o la evolución centenaria en torno a una muralla dentro de un yacimiento arqueológico. Permitirá además al usuario sentir que está en el interior de una excavación (por ejemplo la visita espeleológica al monumento natural de la Geoda gigante del Pilar

de Jaravía en Pulpi<sup>42</sup>, Almería) sin necesidad tan siquiera de moverse de casa propiciado así, de una parte, el análisis respetuoso de la historia del arte de un bien patrimonial en un contexto de paisaje tridimensional y, de otra, el hacer accesible el patrimonio a cualquier usuario.

Entre las posibilidades que se nos brindan con esta herramienta, y al igual que sucede con el resto de capítulos en los que tratamos con modelos tridimensionales, nos podemos encontrar con dos posibilidades (figuras 125 y 126):

- Que el proyecto recoja documentación tridimensional obtenida de conjeturas y mediciones (si procede) escuetas de la pieza, espacio o entorno y que permiten alcanzar mediante software de modelado 3D recreaciones semejantes a la realidad pero, en muchos casos idealizados, ha comenzado mediante el levantamiento tridimensional de la villa a partir de los planos recogidos en el Plan Especial
- Que el proyecto emplee para la difusión piezas, espacios o entornos obtenidos por técnicas fotogramétricas y/o escaneado 3D con la intención de manejar modelos fidedignos a la realidad y con, incluso, validez métrica integrada.

En el primero de los casos emplearemos texturas irreales con, en el mejor de los casos, escalas de color RGB semejantes a las reales y, con el segundo, podremos llegar incluso a dotar al modelo de textura fotorrealista (3.2.4.1).

El resultado de la figura anexa es un modelo que, por un lado, combina volúmenes simples y, por otro, con modelos fundamentados en la realidad elaborados con técnicas de fotogrametría descritas en apartados anteriores y que son escogidos en función de las posibilidades técnicas, la precisión demandada, el presupuesto asignado, la ubicación, las cualidades físicas del objeto y las dimensiones del mismo.

---

<sup>42</sup> Geoda más grande del mundo documentada hasta la fecha: [<http://www.pulpituristico.es/index.php/es/llegar-a-pulpi/item/180-visita-virtual-a-la-geoda>].

Figura 125 (superior derecha). Recreación 3D con los restos arqueológicos de diferentes épocas encontrados junto a la excavación La Antigua, Valladolid. Fuente: José Luis Martínez Jiménez de mobivap.

Figura 126 (inferior derecha). Modelo 3D fotorrealístico generado con fotogrametría del yacimiento arqueológico de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



El trabajo sobre modelos tridimensionales con la intención de alcanzar y generar recorridos virtuales, se sustenta en la generación de un modelo completamente interactivo, visitable desde cualquier posición y donde el espectador disfruta, en primera persona, de un recorrido por un modelo multiresolución con

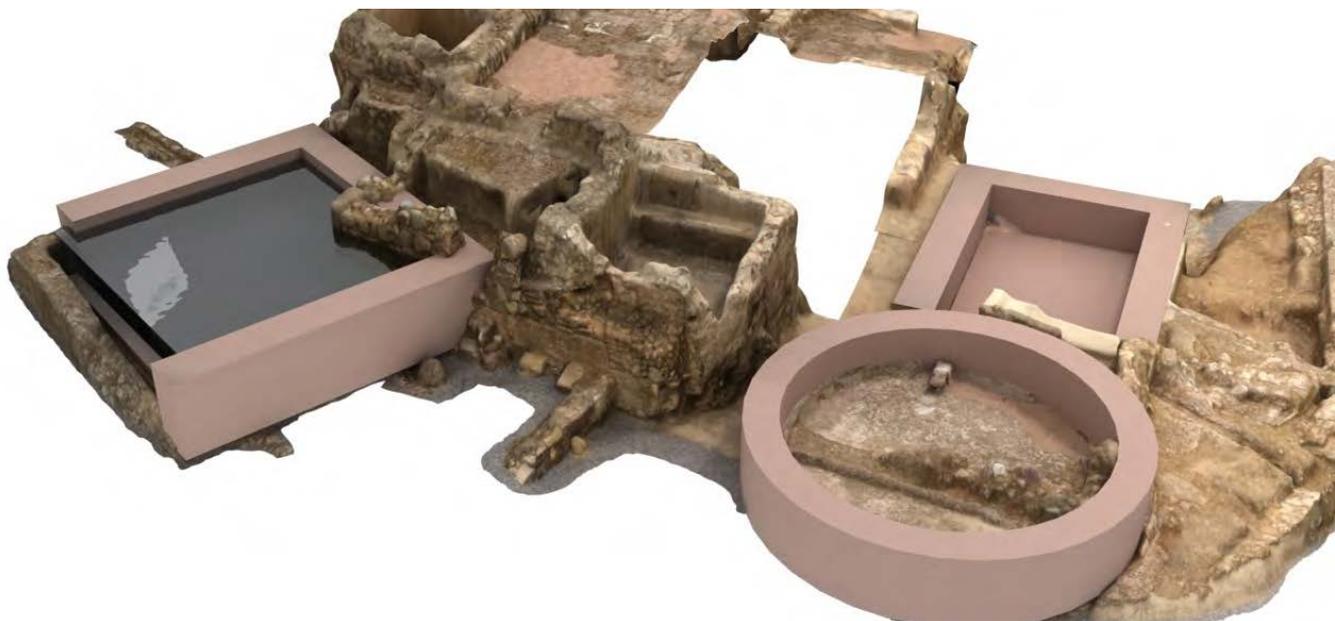


Figura 127. Anastilosis realizada sobre modelo tridimensional generado por fotogrametría. Termas urbanas de Mérida con superposición de fases y remarcado de algunas piscinas en 3D. Fuente: Marco Aza Lozano.

calidad gráfica y, atendiendo al interés de nuestra investigación predoctoral, métricamente equiparable al original a través de técnicas fotogramétricas transformándolo en una fuente de transmisión del patrimonio de gran potencial.

Por ello, las visitas o recorridos virtuales son una forma sencilla, viable e interactiva de ver un espacio en todas las direcciones e interactuando con este. La anastilosis y reconstrucción virtual (figura 127) es por tanto una técnica respetuosa con el patrimonio y el entorno, permite recrear medios, en ocasiones, desaparecidos, sin mediar en las piezas recuperadas ni dañarlas en el proceso, pone en valor los restos observados, y es completamente reversible concurriendo en convertirse en un sostén museístico económico e idóneo que posibilita visitar virtualmente sin tener que estar físicamente en el lugar, resguardándolo de la erosión del público y no demandando grandes mantenimientos con la particularidad de aportar, además, una función didáctica actualizable y ampliable con futuros hallazgos.

### 3.4.8. Difusión en la red

Tal y como hemos podido evidenciar, el universo digital tridimensional está aportando nuevas formas de entender, acceder y comercializar con el entendimiento y la documentación relativa a los bienes patrimoniales. El disponer de modelos apegados a la realidad y con un nivel alto de fidelidad con esta proporciona herramientas que permiten simular la realidad en un entorno ficticio y, a su vez, abastece al usuario de nuevas posibilidades en el empleo del bien tridimensional creado para otros fines.

En la nueva era de la tecnología y la navegación web son múltiples los medios a los que podemos recurrir para efectuar la difusión del trabajo consumado, entre ellos tendremos redes sociales, blogs, páginas web, foros, vídeos, etc.

Empresas como Google, que apuestan fuertemente por sistemas que brinden acceso virtual (online) a nuestra herencia cultural a través de la red, demuestran diariamente que nos encontramos ante una nueva etapa cultural en la que se puede disponer de acceso anónimo a infinidad de información sin mediación humana (Conway, 2010). Conway, además, reseña que nos encontramos en la “era de Google” y que, ésta, supone un salto cualitativo y cuantitativo hacia una conservación diferente a la que conocemos.

De entre las posibilidades de difusión online, en este capítulo, se citan las alianzas más trascendentales para la conservación y valorización del patrimonio cultural español, muchas de ellas integradas por la colaboración de empresas privadas con instituciones nacionales e internacionales como la UNESCO.

La primera y más próspera es Maps, Earth y/o Street View de Google y, la segunda, que no recogida en esta tesis por su variedad documental, Google Art Project<sup>43</sup> y Google Books<sup>44</sup> que apalean a la difusión documental y de haciendas museísticas. En estas dos últimas, la primera, avista museos españoles como el Museo de Huesca, el Museo Episcopal de Vic o Museo Juan Cabré entre otros pertenecen a la cadena de exposiciones que se pueden contemplar vía online empleando.

---

<sup>43</sup> Google Art Project es una plataforma mundial en la que museos e instituciones proyectan sus colecciones para que, cualquier usuario, puedan conocer y contemplar obras de arte en alta resolución.

<sup>44</sup> Google Books es un servicio en el que se almacenan en forma de base de datos infinidad de textos completos relativos a libros digitalizados.

Desde 2004, Google, por medio de la implantación de la geolocalización de Google Maps y su régimen cartográfico tradicional con opción a visualización en formato de imágenes vía satélite o aéreas de alta resolución, y Google Earth, con su sistema armado en torno a testimonios geoespaciales y el acceso a búsquedas externas a través de capas y objetos seleccionables es una de las mayores y más importantes empresas mundiales en cuanto a acceso posicional mundial a la sociedad en general se refiere.

Podemos afirmar por tanto que estamos ante una composición de infraestructura y SIG de información geográfica básica de fácil acceso y con escasos requisitos para el aprendizaje (Almagro, 2008).

La combinación entre Google y algunas instituciones españolas ha proporcionado como consecuencia un Catálogo Monumental de España para Google Earth. En este, que se despliega con ilustraciones que van desde 1928 hasta 1936

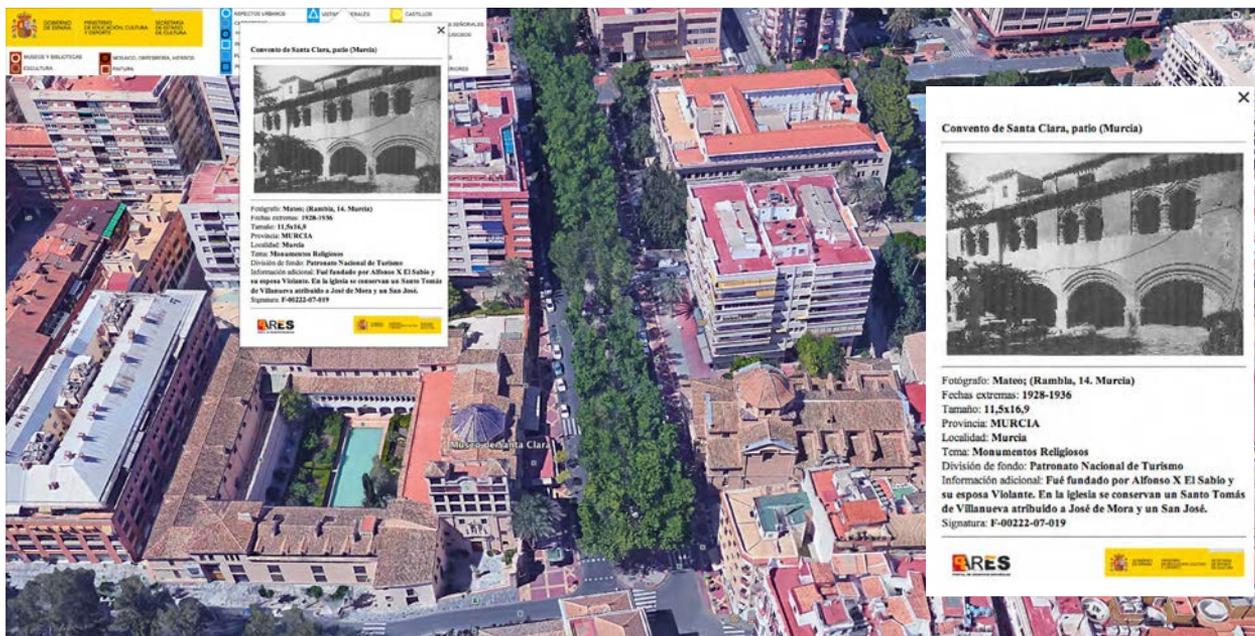


Figura 127. Catálogo Monumental de España. Captura de pantalla sobre Google Earth. Fuente: Autor.

desarrolladas por el Patronato Nacional de Turismo, se disponen de más de 3000 reproducciones fotográficas, que giran en torno al turismo y el patrimonio. En la

actualidad, el Archivo General de la Administración está al alcance de cualquier usuario donde, a través de archivos de extensión .kmz, en Google Earth, se permite el acceso a capas de información y de consulta gráfica anexa de, incluso, monumentos inexistentes (figura 127).

De otro lado, y mediante el empleo de Google Street View, en 2009, se establece una alianza internacional entre Google y la UNESCO y desarrollan el llamado World Wonder Project. Street View, recurso híbrido fruto del vínculo de la conjunción entre la fotografía y la interfaz espacial de navegación. Con esta aplicación, y gracias al Google Street View Car<sup>45</sup>, Google-trike<sup>46</sup> o Google-Trekker<sup>47</sup> (2015) entre otros (motos de agua, motos de nieve, barcos, etc), podremos visualizar en 360° cualquier entorno y realizar visitas virtuales por calles, avenidas y senderos (figura 128).



Figura 128. Las zonas azules del mapa muestran dónde ha recogido Google imágenes de Street View. Fuente: Google.

Estas imágenes de 360 grados pueden ser observadas por usuarios de todo el mundo a través de la red pudiendo ser vistas desde Google Maps. Ciudades como Cuenca, Cáceres, Toledo, Salamanca, Ávila, Mérida o Segovia están referenciadas mediante un icono (figura 129) para desplegar información flotante y tanto

<sup>45</sup> Google Street View Car es un vehículo al que se le ha incorporado un equipo de recogida de datos, que se monta en el techo de un coche, y permite la captura 360°.

<sup>46</sup> Google-Trike es un triciclo que, por su facilidad de movilidad, recorre caminos estrechos en torno a áreas como parques y senderos, campus universitarios, centros comerciales al aire libre, parques temáticos y zoológicos, lugares de interés e incluso estadios deportivos y que, gracias a la cámara 360° que lleva provista recoge datos del entorno por el que se desplaza.

<sup>47</sup> Google Trekker es una mochila portátil que se utiliza en terreno al aire libre y que va provista de un equipo de recogida de datos y permite la captura 360°.

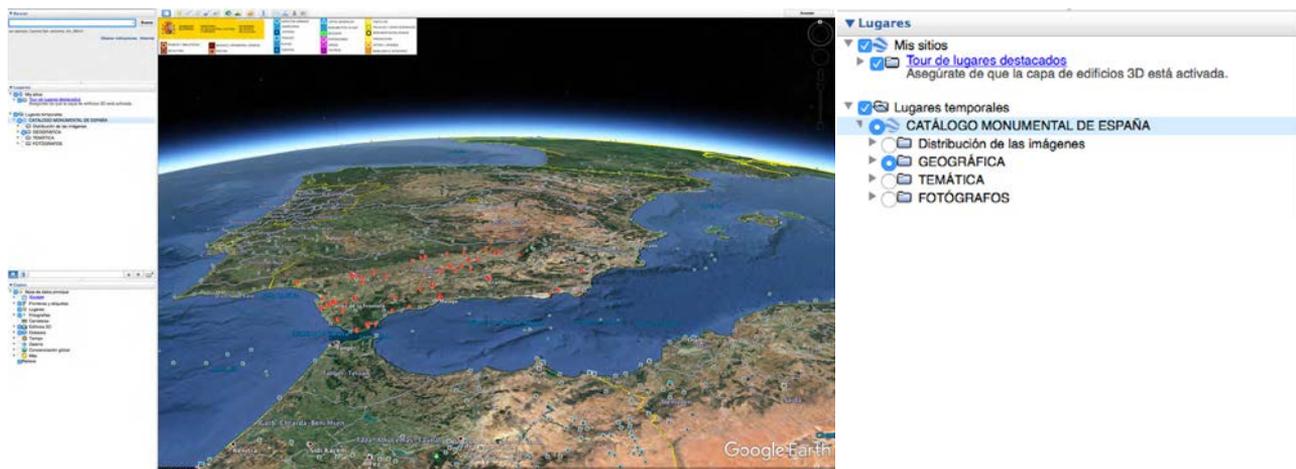


Figura 129. Referencias geoposicionadas del Catálogo Monumental de España dentro de la interfaz de Google Earth. Fuente: Autor.

facilitarnos el enlace a la web de la UNESCO como mostrarnos el aporte gráfico de ésta y otras fundaciones como el World Museum Fund y el Getty Images Database.

Dado que la documentación patrimonial para la generación de documentación técnica y la difusión del Patrimonio es una herramienta fundamental para conservar, gestionar y analizar los bienes culturales, con herramientas como google Earth podemos, además, crear recorridos virtuales para conocer reconstrucciones tridimensionales de edificios y conjuntos arquitectónicos, yacimientos arqueológicos, centros urbanos, paisajes, etc. De acuerdo con autores como Gabrielli y Malinverni en su obra “Multimedia database for the Heritage information system of the Ancyra Project” de 2007, esta herramienta web ha propiciado una revolución del entorno de los SIG ante la posible combinación de la visualización tridimensional con las particularidades de un SIG.

Google es la encargada de gestionar (desde 2013) los modelos tridimensionales volcados al entorno virtual donde (figura 130), generalmente, se apoya en sólidos prismáticos con dimensiones en planta y altura conocidas para generar el levantamiento de bienes a los que, posteriormente, les acopla información gráfica obtenida de fotografías rectificadas.

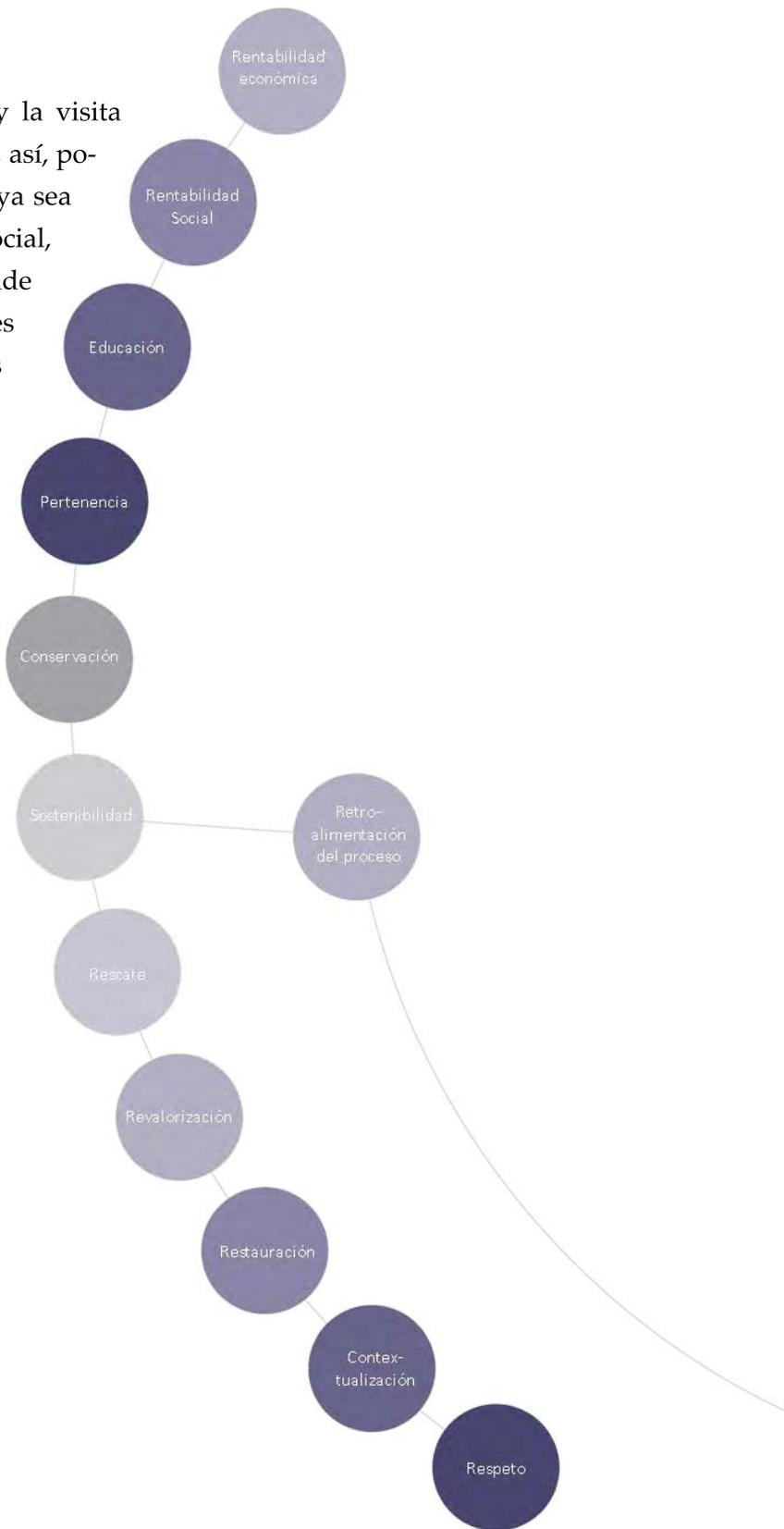
Puesto que el patrimonio cultural es, por definición, un conjunto de manifestaciones u objetos originarios de la producción humana, que una so-

ciudad ha recogido como legado histórico, tales manifestaciones u enseres forman demostraciones importantes del progreso de la civilización y profesan una función modélica o referencial para toda la sociedad (Llul, 2005), conocidas ya las referencias internacionales de aplicación y rebasados ya los productos finales generados por la metodología fotogramétrica sólo nos queda, en los casos que así se requiera o demande, su difusión en la web.

The image displays two screenshots of the 3D Warehouse website. The top screenshot shows a grid of various 3D models, including architectural structures like 'Parliament House Canberra', 'Ayasofya - Hagia Sophia', and 'Bundeskanzleramt am Spree-Bogen', as well as objects like 'Hanging Metal Wall Lamp', 'Triumph Bonneville "Stout"', and 'Transparent Restaurant Canopy'. The bottom screenshot shows a search results page for 'Wiericke 54', displaying 801 results with a grid of model thumbnails and their titles, such as 'Escuela primaria de Almería', 'Casa de madera 1,1 m3', and 'Escuela primaria 2 m3'.

Figura 130. Composición de la interfaz de la web 3dwarehouse de Google con modelos tridimensionales generados por los usuarios. Fuente: Autor.

Con el modelo 3D y la visita virtual podremos difundir y, así, poner en valor el patrimonio, ya sea desde un punto de vista social, turístico y/o educativo, donde uno de los mejores medios es la difusión en la red de los bienes para aproximarlos a la sociedad (figura 131).



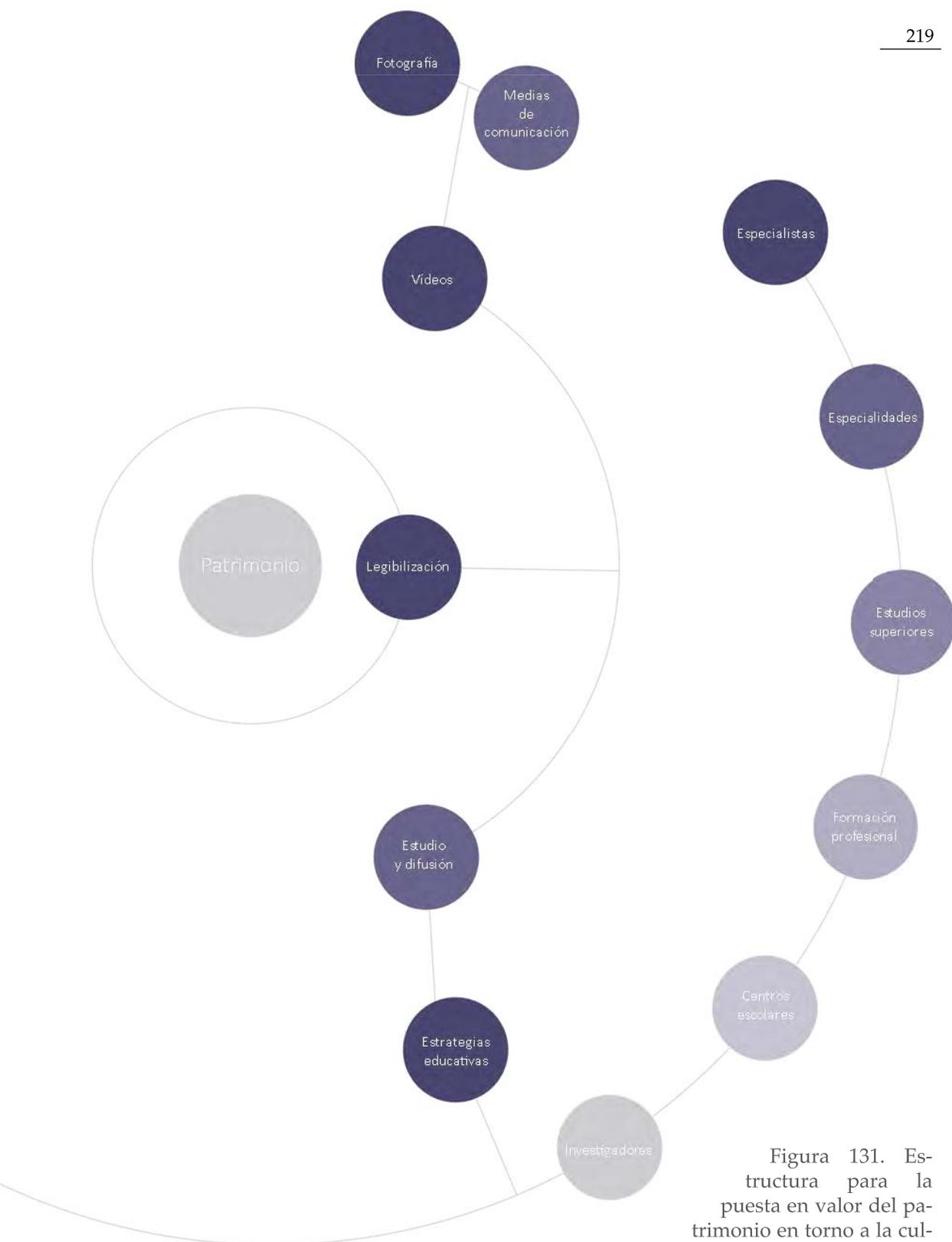


Figura 131. Estructura para la puesta en valor del patrimonio en torno a la cultura digital. Fuente: Autor.



## **4** APLICACIÓN EN LAS FASES DE INTERVENCIÓN EN EL PATRIMONIO: RESULTADOS

Expuestos los antecedentes históricos relacionados con la fotogrametría, el estado del arte en torno a la normativa y recomendaciones anexas al patrimonio histórico y explicado el protocolo de actuación y sus cuatro etapas, donde tenemos:

Una primera dedicada al conocimiento de todo lo relativo a la instrumentación, sus propiedades intrínsecas y los parámetros de calibrado relacionados con la cámara.

Una segunda en la que se identifican los criterios concernientes a la fase de trabajo de campo.

Una tercera, en gabinete, en la que se emplea la documentación recogida en la etapa anterior y se calculan y generan modelos tridimensionales con rigor métrico.

Y una cuarta y última donde se presentan los productos alcanzados fruto de este flujo fotogramétrico.

Es en este cuarto capítulo donde se formula un procedimiento eminentemente práctico, se valida el protocolo con ejemplos reales y donde se ratifica la idoneidad del procedimiento documental integral por métodos fotogramétricos.

El motivo que nos ha llevado a escoger modelos de muy distinta índole para cada una de las fases radica en la intencionalidad por demostrar cómo, en tareas de intervención sobre bienes patrimoniales de naturaleza arquitectónica, arqueológica o industrial, la fotogrametría, surge como solución efectiva en la generalidad de los casos.

De esta forma, y tal y como se reseña en el título de esta tesis doctoral, el procedimiento que se ha desarrollado pretende establecer un punto de partida en la aplicación de la fotogrametría como herramienta de apoyo a todas las fases de intervención del patrimonio en torno a sus criterios de documentación, actuación, protección y difusión donde, cuando sea posible, se manifiesten además las virtudes, o no, de esta técnica frente a los sistemas de trabajo tradicionales empleados en cada una de estas fases.

De cara a emplear una metodología no excesivamente compleja y/o extensa, nos apoyaremos en las pautas de la Guía RehabiMed<sup>48</sup> y su aproximación integral. Esta parte de la base que dice que si no conocemos, no podemos reflexionar y, por lo tanto, no podemos rehabilitar. Propone cuatro fases de intervención (el conocimiento, la reflexión y el proyecto, la obra, la vida útil), en su caso encaminada a la rehabilitación de edificios tradicionales y, en el nuestro, aplicada al patrimonio.

El Método Rehabimed, constituido de inicio con objetivos de rehabilitación arquitectónicos, se despliega como un marco de referencia actual, que según sus informes es aplicado exitosamente y que logra resultados contrastables según el país en que se aplican en función de los recursos disponibles para llevar a cabo el plan de intervención que se haya trazado con el que, finalmente, llegar a una intervención y uso apropiados.

El método se desarrolla en cuatro fases que garantizan un proceso de inter-

---

<sup>48</sup> Documento de referencia de la Asociación RehabiMed que es una iniciativa que se apoya en una larga experiencia de trabajo conjunto entre más de 400 instituciones y organizaciones (Universidades, profesionales, administraciones públicas, organizaciones no gubernamentales...) de más 40 países Euro-mediterráneos. [<http://www.rehabimed.net/?lang=es/>].

vención integral y que, dado su carácter global, permiten su uso indistinto en cualquier tipología de análisis patrimonial. Sus principales estándares que, además, justifican nuestro esqueleto de investigación son:

1. Es adaptable. Se define como un marco guía que facilita el trabajo sobre el patrimonio sin aspirar a encontrar soluciones generales a las problemáticas sino más bien aceptando que en función de las condiciones específicas, las estrategias seguidas y el propósito de la acción condicionan la toma de decisiones final en cada una de las fases (conocimiento, proyecto, ejecución y gestión).
2. Es integral. Pues considera al proceso en términos ambientales, económicos, técnicos, sociales, urbanísticos y ambientales definiendo una estrategia total que apruebe la armonía entre la mejora de la calidad social de los bienes y la puesta en valor del patrimonio.
3. Es flexible. Muta según las necesidades y, tal y como se demuestra al final de cada uno de los epígrafes de las fases de intervención, establece un procedimiento de toma de decisiones donde, asumiendo que los procesos de intervención pueden ser de larga duración, es necesario evaluar de manera permanente y continuada las tareas posibilitando la reorientación estratégica, a veces imprevista de inicio, en torno a la evolución de los trabajos.
4. Es acordada. Pues parte de la premisa reivindicativa de una necesidad patrimonial y pretende un consenso documental para una adecuada, verdadera y garantizada acción de intervención.

Las cuatro fases de experimentación y constatación de resultados de Rehabimed, por tanto, atienden a los principios de intervención, forjados desde finales del siglo XIX y obtenidos como resultado de profundas reflexiones e infinidad de experiencias y con las que se han instaurado y desarrollado una sucesión de cánones, recogidos con el paso del tiempo en tratados, convenciones, cartas, leyes, etc., y que, en gran cantidad de ocasiones se han terminado extrapolado a las legislaciones nacionales a las que se hizo referencia en capítulos anteriores (2.1).

La propuesta esencial de estos preceptos se establece en la necesidad fundamental de proporcionar y dotarse de un método. Este, articulado en fases de intervención y, por tanto, con unos objetivos concretos dentro de la restauración patrimonial requiere de una primera fase de conocimiento y documentación con la que conocer en profundidad aquello que se va a intervenir y/o investigar y, otra, en la que se establezcan útiles para un adecuado tratamiento de las fuentes de acuerdo con el habitual requerimiento de participación multidisciplinar ante la intervención patrimonial.

Así, y tal y como concreta la Carta de Venecia de 1962 en su artículo 2º, sobre definiciones, y 16º, sobre Documentación y Publicación, respectivamente:

“La conservación y restauración de monumentos constituye una disciplina que abarca todas las ciencias y todas las técnicas que puedan contribuir al estudio y la salvaguarda del patrimonio monumental.”

“Los trabajos de conservación, de restauración y de excavación irán siempre acompañados de la elaboración de una documentación precisa, en forma de informes analíticos y críticos, ilustrados con dibujos y fotografías.”

O como sintetiza el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios Histórico-Artísticos en sus Principios para el Análisis, Conservación y Restauración de las Estructuras del Patrimonio Arquitectónico en su capítulo 2.2 y 3.13 respectivamente:

“En primer lugar, la recopilación y el tratamiento de los datos y la información deben llevarse a cabo de forma equilibrada, prudente y ponderada, con el fin de establecer un plan integral de actuación proporcionado a los problemas reales de las estructuras.”

“La intervención debe responder a un plan integral de conjunto que tenga debidamente en cuenta los diferentes aspectos de la arquitectura, la estructura, las instalaciones y la funcionalidad.”

Decidimos, por ello, trabajar en torno a estos patrones Normativos con el propósito de demostrar el potencial grado de implantación de la fotogrametría

en cada una de las fases del Plan Integral de Actuación en el Patrimonio Cultural tanto de origen arquitectónico, arqueológico e industrial y cómo esto redonda en una disminución de necesidades pluridisciplinarias en los equipos de trabajo intervinientes en torno a los bienes patrimoniales y su documentación.

De tal forma, el presente capítulo se desglosa de acuerdo con las siguientes fases y los sucesivos ejemplos concretos para cada una de ellas (figura 132):

- Una primera fase de Investigación y Diagnóstico.
- Una segunda fase de Proyecto.
- Una tercera fase de Ejecución.
- Una cuarta fase de Gestión.

4.1. FASE 01. CONOCIMIENTO: INVESTIGACIÓN Y DIAGNÓSTICO.

Conocer el bien patrimonial, en todos los sentidos, sobre el que se va a tra-

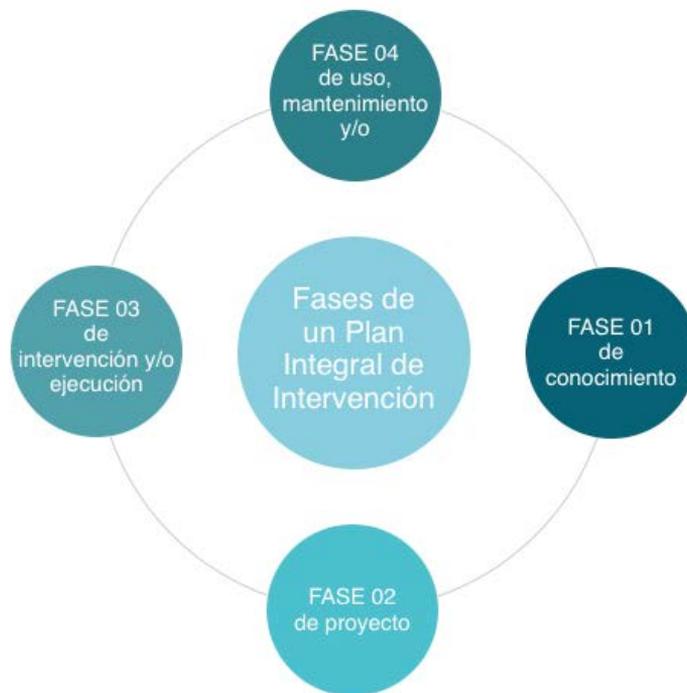


Figura 132. Esquema de las fases del plan integral de intervención en el patrimonio. Fuente: Autor.

bajar debe ser previo a toda intervención. El primer período dentro de esta primera etapa, denominado preliminar, recoge la disposición de intervenir del promotor y se desarrolla a través de un diagnóstico previo en forma de valoración inicial y objetiva que va acompañada de una propuesta y del objeto de intervención.

Además, para el estudio y conocimiento inicial de todo patrimonio es necesario una combinación de conocimientos culturales, científicos y de experiencia. Sólo ante esa configuración de partida, estos criterios pueden apoyar a una mejor documentación, conservación, socorro y restauración de bienes patrimoniales. El objetivo de todos los estudios, investigaciones e intervenciones es la salvaguardia y conservación del valor histórico y cultural del bien en su conjunto. El mantenimiento del patrimonio, normalmente, demanda un enfoque multidisciplinario, que involucra a diferentes organizaciones y profesionales. A lo largo de esta y próximas fases, podremos comprobar cómo, en el aspecto documental, de reconocimiento y registro, parte de esta forma de trabajo habitual y universal puede variar en torno a un mismo profesional, aquel que realiza fotogrametría, independientemente de si es arquitecto, topógrafo, ingeniero, arqueólogo u otros.

Es ya en torno a la investigación en materia de patrimonio y las diferentes legislaciones autonómicas, cuando comprobamos que los estudios previos a una intervención y el informe final de obra son, a veces, menospreciados hasta el punto de ser ignorados (como la del Patrimonio Histórico-Artístico del País Vasco<sup>49</sup>) o, por otro lado, perfectamente definidos como la publicada en el B.O.E. número 264 del 4 de noviembre de 1993 del Patrimonio Cultural Catalán, o Ley 9/1993, de 30 de septiembre, que, en su artículo 34, epígrafe 3º establece:

“Cualquier proyecto de intervención en un bien inmueble de interés nacional incluirá un informe sobre sus valores históricos, artísticos y arqueológicos y sobre su estado actual, y también de evaluación del impacto de la intervención que se propone.”

Otras, sobre el Patrimonio Histórico de Andalucía, como la publicada en el Boletín Oficial de la Junta de Andalucía número 59 el 13 de julio de 1991, en el artículo 22 de la Ley del 3 de julio de 1991, número 1/91 del Parlamento de Andalucía dice que:

---

<sup>49</sup> Ley 7/1990.

“Los Proyectos de Conservación se ajustarán al contenido que reglamentariamente se determine, incluyendo, como mínimo la identificación del bien, la diagnosis de su estado, la propuesta de actuación, desde el punto de vista teórico, técnico y económico, y la descripción de la metodología a utilizar”.

Conocida por tanto la complejidad y magnitud de trabajos demandada se converge habitualmente en un segundo período de conocimiento, o de análisis, que se fundamenta en una cuidada investigación disciplinar (o multidisciplinar) en la que se investigan los ámbitos históricos, sociales, constructivos, arqueológicos y arquitectónico.

#### **4.1.1. Prediagnosis**

En esta etapa se ejecuta una aproximación inicial y de carácter global sobre el patrimonio recogiendo sus valores (arquitectónicos, arqueológicos, históricos, culturales, etc.) y sus problemas (excavación, reconstrucción, de habitabilidad, etc.). La experiencia del técnico, profesional o investigador que realiza la primera visita es determinante. Este examen, ocular, recorre la totalidad del bien con la intención de reconocer sus valores y localizarlos, identificar los sistemas constructivos usados, las patologías que lo afectan y la posible problemática social vinculada.

La investigación inicial requiere un enfoque, habitualmente, interdisciplinario pues es una actividad que repercute no ya sólo en el estudio histórico del bien sino que aparecen consideraciones técnicas y fenómenos y comportamientos estructurales. Así, es primordial contar con un equipo que cuente con una pluralidad de conocimientos adecuados con aquello que se pretende acometer y que, a su vez, estén dirigidos por alguien con una experiencia adecuada.

Para conocer el patrimonio se requiere de información sobre sus orígenes, concepción, las tecnologías y procesos que se emplearon durante su construcción, las causas de deterioro y daño, las variaciones en sí mismo o en su entorno que le hayan podido afectar y, en definitiva, sobre su estado actual.

Generalmente, el discernimiento de estos ítem, y atendiendo a las Recomendaciones para el Análisis y Conservación y Restauración Estructural del Patrimonio Arquitectónico de ICOMOS<sup>50</sup>, que por su globalidad puede aplicar sus conclusiones a otros campos patrimoniales, se pueden obtener con los siguientes pasos:

- Definición, descripción/comprensión de la importancia histórica y cultural del bien patrimonial, de los materiales y de las técnicas constructivas originales (figuras 133 y 134).
- Investigación histórica que abarque la vida completa de la estructura y que incluya tanto las modificaciones de su forma como cualquier intervención estructural anterior.
- Descripción de la estructura en su estado actual que incluya identificación de daños, deterioro y posibles fenómenos progresivos, utilizando los ensayos adecuados.
- Descripción de las acciones implicadas, del comportamiento estructural y los tipos de materiales.

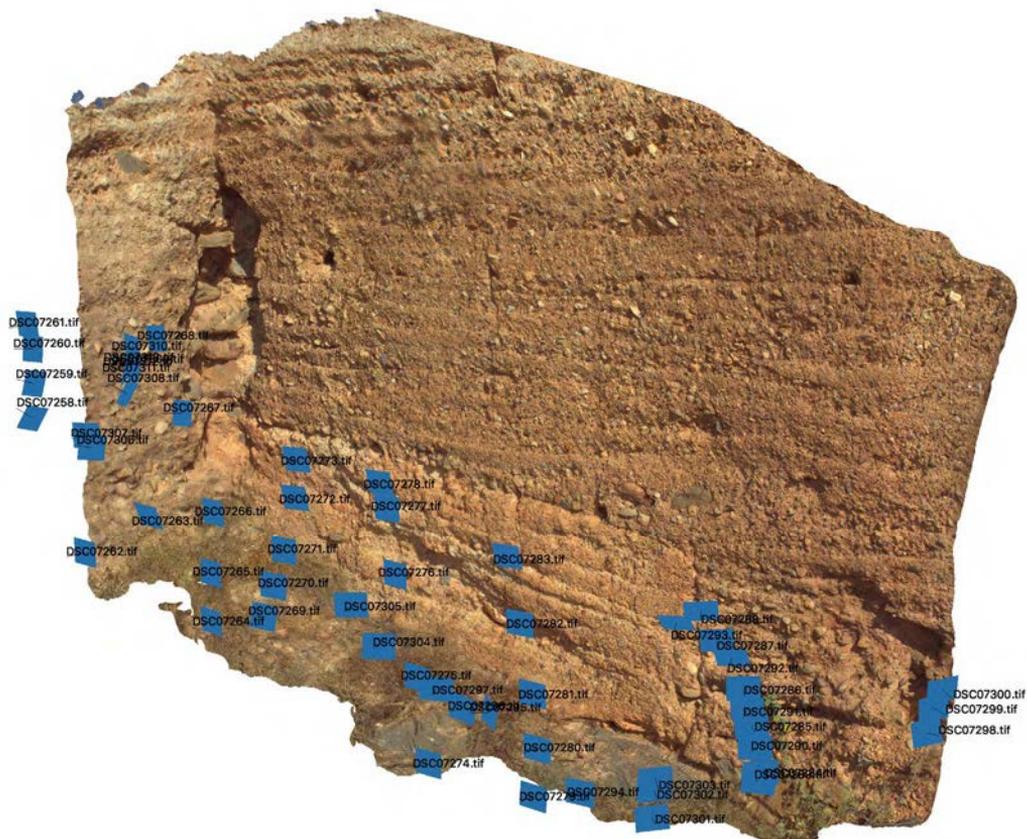
Estos estudios deben estar orientados por un reconocimiento inicial tanto del entorno como del bien sobre el que se actuará y nos permiten comprobar cómo, algunas de las actividades que, como decíamos, habitualmente son llevadas a cabo por profesionales de muy distinta formación/titulación, pueden verse influidas por la aparición y empleo de herramientas como la fotogrametría pues, un mismo profesional, por sus propios medios y sin necesidad de las tan, ya tradicionales, subcontrataciones a estudios o profesionales del sector topográfico, arquitectónico, arqueológico, de ingeniería o delineado, podrían llegar a obviarse con el trabajo de un mismo experto que, por ejemplo, recopile bibliografía, reseñe históricamente al bien, tome datos en campo, realice el levantamiento planimétrico y altimétrico y, en definitiva, efectúe las labores documentales previas.

Esta información ha de recogerse en una o varias fichas de reconocimiento o inspección que complementen el estudio documental inicial y que tienen como objetivos generales:

Figura 133 (superior derecha). Ortofotografía fotogramétrica de alta resolución. Castillo de la Asomada, Puerto de la Cadena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 134 (inferior derecha). Perspectiva encuentro entre muros de tapial afectados por desprendimiento. Castillo de la Asomada, Puerto de la Cadena (Murcia). Fuente: Autor.

<sup>50</sup> [https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/structures\\_sp.pdf](https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/structures_sp.pdf)



- Comprobar si existen fenómenos que deprecien o afecten al bien y determinar si están, o no, estabilizados.
- Identificar cuáles son los daños y el deterioro que ha causado al patrimonio.
- Disponer si existen peligros inmediatos y, con ellos, si se deben adoptar medidas de actuación inmediatas o urgentes.
- Identificar (figura 135) y localizar los posibles efectos acaecidos sobre el bien por causas relacionadas con el entorno.

En torno a todas estas actividades, la fotogrametría digital, apoya al técnico con documentación fotográfica extensa (figura 136) y, fruto de esta, un modelo tridimensional que le permita visualizar, ya en gabinete/despacho, el objeto de la actuación de forma que, todo aquello que, in-situ, no hubiera podido u olvidado comprobar, anotar o, directamente observar, no sea un problema en la correcta resolución de esta primera fase de trabajo.

Junto a la inspección y registro, el equipo de trabajo, debe inspeccionar e investigar el marco legal que rige en torno al bien patrimonial en estudio. Con estas averiguaciones (sobre todo determinantes las relacionadas con el grado de protección patrimonial del bien concreto o su entorno) se conocerán las restricciones, responsabilidades y obligaciones que recaen sobre el objeto del trabajo y las ayudas o subvenciones económicas de que se puede beneficiar el proyecto en caso de actuar sobre este.

Finalizada la inspección y conocido el entorno legal en que nos encontramos, ya es posible tener una visión general del trabajo y podremos determinar posibilidades y sus déficit. El informe redactado en este tramo debe recoger, de forma clara y concisa, la información recabada y debe estimar el estado de conservación del bien y proponer sugerencias o recomendaciones.

Con esta información, el experto, podrá desde el comienzo del proceso,

Figura 135 (superior derecha). Lateral de la muralla sur del Castillo. Castillo de la Asomada, Puerto de la Cadena (Murcia) Fuente: Autor.

Figura 136 (inferior derecha). Collage fotográfico de la documentación gráfica detallada con objeto del trabajo fotogramétrico. Castillo de la Asomada, Puerto de la Cadena (Murcia) Fuente: Autor.



indicar al custodiario del patrimonio, tanto de las posibilidades de actuación como de las limitaciones económicas y técnicas que existen. Es aquí cuando, de no estar clara y definida la actuación de inicio, se deberá decidir si se continúa con el trabajo o se reformula el cometido.

De esta forma resolvemos que con la prediagnosic será necesario incluir una descripción completa de la situación del bien patrimonial indicando con claridad qué partes, y sobre todo cuáles no, están incluidas en el proyecto de intervención. La importancia de la representación y documentación, por tanto, queda más que clara en esta primera parte del trabajo (figura 137). Con ello tendremos seis temas que estarán recogidos en este documento:

- Aproximación histórica.
- Técnicas constructivas.
- Seguridad y Salud para el trabajador.

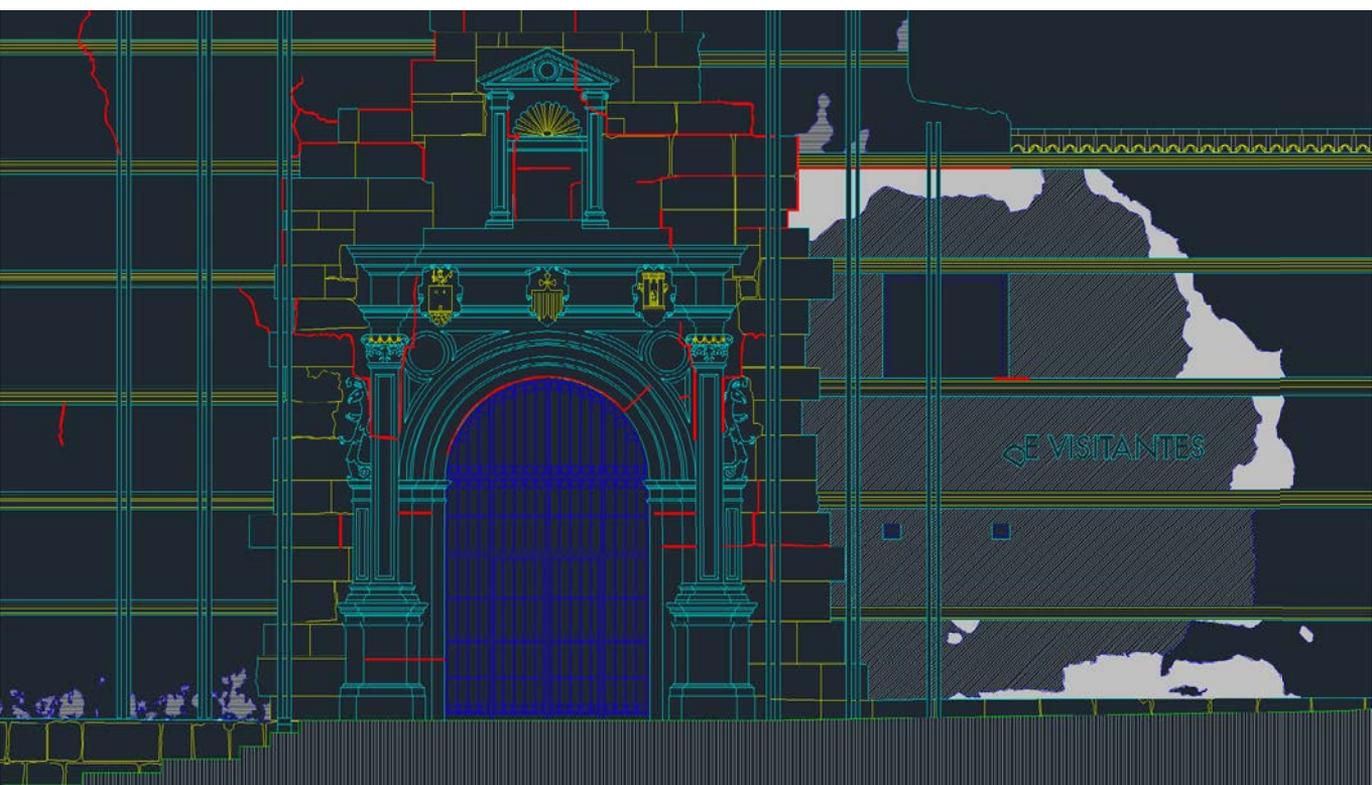


Figura 137. Localización de desperfectos, grietas, humedades, desprendimientos y desconchados representados en CAD por medio del apoyo en ortofotografía generada con fotogrametría (ver figura 087). Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

- Estado de conservación de materiales.
- Estado de conservación estructural o arquitectónico (figura 138).
- Alternativas a la solución propuesta.

Redactado el informe, y si no se prevén importantes actuaciones dado el buen estado de conservación del bien patrimonial, se puede acometer directamente la fase de Gestión (cuarta y última fase) y formular un procedimiento de mantenimiento y protección preventivo. Para el resto de casos, se deberá autorizar una segunda etapa previo al salto de fase (de Proyecto) y que contempla los programas de estudio.

Con la siguiente gráfica (figura 139) se esquematizan las partes en que se divide la primera etapa de la fase inicial (01) de intervención integral.



Figura 138. Ortofotografía de una porción de la portada principal del antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

### 4.1.2. Diagnosis

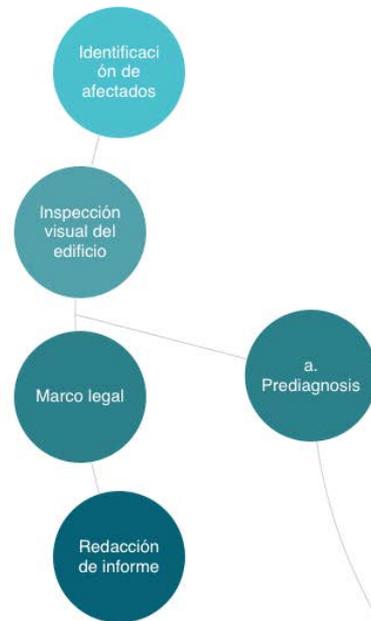
El período esencial de esta primera fase es la diagnosis que, por definición y según el ICOMOS en su Manual de Recomendaciones para el Análisis, Conservación y Restauración Estructural del Patrimonio Arquitectónico es:

“El hecho o proceso de identificar o determinar la naturaleza y las causas del daño y el deterioro mediante la observación, la investigación y el análisis histórico, así como las opiniones que se derivan de esas actividades.”

En este segundo período de trabajo, y aún dentro de la primera fase de intervención sobre el patrimonio, se engloba la recogida sistemática de información en cada uno de los temas en los que se suponga necesario investigar con el propósito final de conocer en profundidad el objeto de estudio.

Durante el tramo de análisis se considera habitual el trabajo pluridisciplinar pues, la experiencia, nos lleva a concluir que esta metodología deriva en buenos resultados. Si bien no podemos confiar exclusivamente en nuestra propia intuición y experiencia, la posibilidad de llevar con éxito estos estudios multidisciplinares deriva directamente de la formación del técnico que los pone en práctica o los dirige pues, como dijimos al comienzo de este capítulo, el corpus de conocimientos y documentación empleando técnicas como la fotogrametría puede estar concentrado, en los casos simples, en una sola persona y, llegado el momento, se deberá plantear la consulta a aquellos especialistas que sean necesarios.

Puesto que se requiere conocer adecuadamente al bien y su contexto antes de intervenir en él, es recomendable establecer objetivos e hipótesis iniciales en torno a los datos recabados en el período anterior de prediagnosis y que servirán de com-



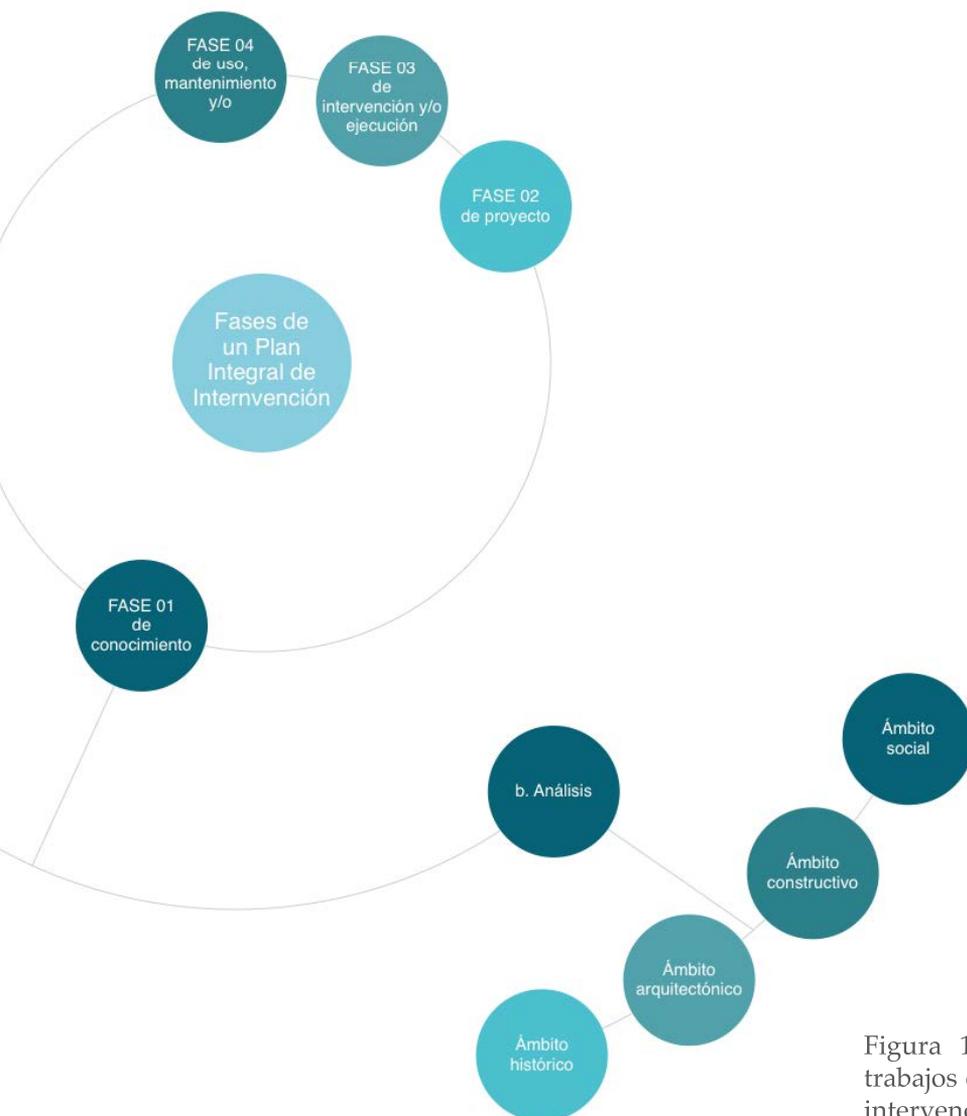


Figura 139. Distribución de trabajos en la primera fase de intervención sobre el patrimonio. Fuente: Autor.

Dada esa metodología, se fijan como ámbitos de actuación dentro del programa de estudio los que siguen:

a. **Ámbito social**

El matiz socioeconómico es, en muchos casos, decisivo según el tipo de actuación. En torno a esta investigación, son las encuestas sociológicas las que permiten localizar las posibles situaciones problemáticas.

b. **Ámbito histórico**

Frente al reconocimiento histórico tenemos dos vertientes. De un lado, aquella que compendia y reúne datos a través de la búsqueda de fuentes docu-

mentales (fotografías antiguas, archivos notariales, anteriores proyectos, archivos familiares, etc.) y, de otro, el derivado del estudio realizado sobre el propio bien que, investigado escrupulosamente como cultura material por el método arqueológico (figura 140) suele, en paralelo al levantamiento gráfico del edificio (en forma de sondeo, análisis estratigráfico, examen de materiales de construcción, etc.) proporcionar información trascendental.

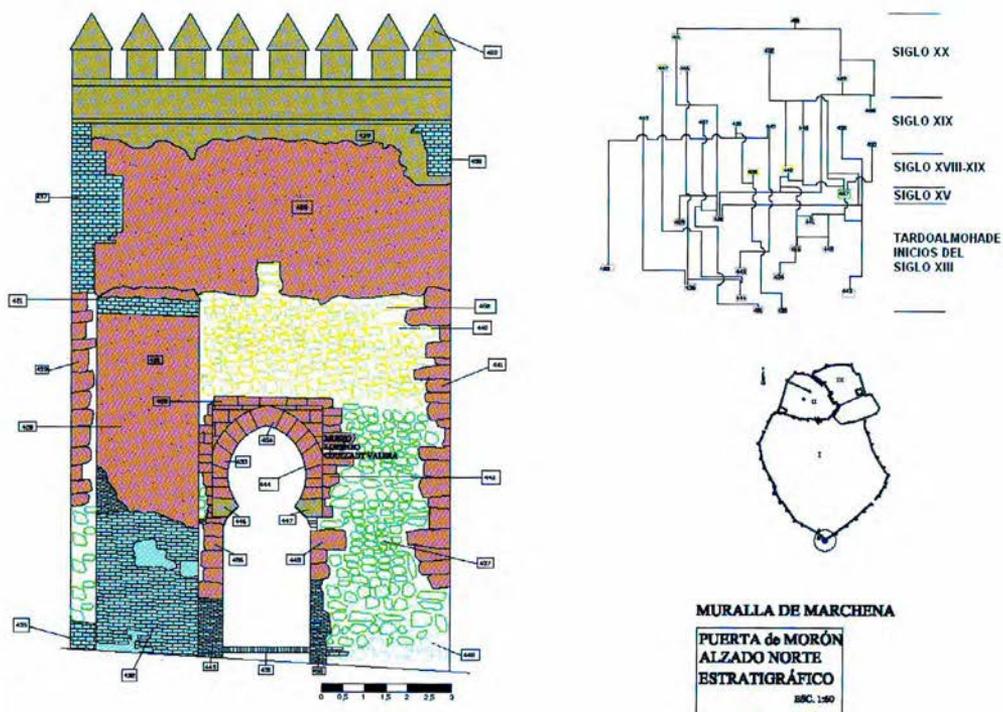


Figura 140. Análisis estratigráfico por método tradicional de la Puerta de Morón o Los Cuatro Cantillos, Recinto de la Madina. Marchena (Sevilla). Fuente: Tania Bellido Márquez.

La historia oral, calificada como otra disciplina de la historia (Fraser, 1993), posee un sustancial, y tradicional, papel en la conservación de bienes patrimoniales. Con la consulta a individuos de cierta edad se puede obtener información muy útil sobre el bien y las técnicas de construcción tradicionales cercanas a la desaparición.

### c. Ámbito arquitectónico

La correcta comprensión del patrimonio siempre lleva aparejada un buen

levantamiento geométrico y, con ello, la producción de un proyecto ajustado a la realidad. El nivel de complejidad de las intervenciones previstas y del propio objeto del trabajo inspirará el tipo de levantamiento y su grado de precisión. Con todo ello podremos optar por realizar desde un levantamiento topográfico, con escáner 3D o fotogramétrico, hasta el ejecutado por métodos directos como un flexómetro (figuras 141 y 142).

La documentación fotográfica y de vídeo, así como la consulta de estudios anteriores de gran valor de archivo (configuración espacial, integración en el entorno, ornamentación, estructura singular, etc.), permite en todo caso precisar e inspeccionar partes o detalles que, en campo, pudieron pasar desapercibidos.

Figura 141 (inferior izquierda) y figura 142 (inferior derecha). Proceso de toma de datos por método directo con flexómetro de mano para posterior escalado del modelo generado por fotogrametría. Tronera del cubo de defensa del pilar de Carlos V, junto a la Puerta de la Justicia de la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.



Con todo esto podemos afirmar que un levantamiento gráfico no es simplemente una operación abstracta de toma de medidas, sino que dibujar el sistema para conocer. El levantamiento gráfico de materiales nos generará superficies con texturas, colores, irregularidades, imperfecciones, etc.), el reconocimiento de los valores arquitectónicos o formales nos derivará una mejora en el entendimiento histórico-artístico y donde, por último, las técnicas constructivas y sus lesiones nos aproximarán a las peculiaridades constructivas. En toda esta multitud de posibilidades la fotogrametría digital se presenta como técnica resolutive, rápida y efectiva.

Además, dentro de este ámbito, es necesario analizar más detenidamente el marco legal (y urbanístico, si procede) del objeto del trabajo, estudiando, si fuera el caso, los expedientes previos que condujeron a su catalogado y protección total o parcial.

#### d. Ámbito constructivo

Este período engloba la observación de lesiones y el reconocimiento físico-constructivo de los elementos (figura 143) o partes que componen al bien. Se requiere por tanto de personal especializado en las técnicas, métodos o peculiaridades constructivas o de fabricación tradicionales y ligados al objeto sobre el que se actúa.

Puesto que se pretende una aproximación lo más científica posible al problema, al equipo pluridisciplinar podrán sumarse expertos en ramas como geología, química, biología u otras conocedoras de las causas que originan la problemática establecida en la hipótesis y, siempre que fuera necesario, se efectuarán



ensayos (en laboratorio o in-situ) que permitan identificar alteraciones, materialidades, plagas o crecimiento de fisuras.



Figura 143. Vista aérea para estudio previo de las lesiones y reconocimiento físico-constructivo del Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor.

Dado que nos encontramos en una fase que, aunque preliminar, está relacionada con la construcción, es importante recoger y evaluar la posibilidad de aparición de accidentes y la correlativa evaluación de la seguridad.



En el momento en el que se plantea una rehabilitación es recomendable introducir criterios de sostenibilidad y de protección del medio ambiente.

Será por último aquí donde se comprobarán las infraestructuras básicas (red de agua potable, saneamiento, electricidad, telecomunicaciones, etc.) con que cuente (o requiera) el bien patrimonial y los criterios relacionados con la protección del medio ambiente y la sostenibilidad.



El Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico<sup>51</sup>, de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, por ejemplo, en su protocolo 1º de informe diagnóstico y de propuesta de intervención, identifica como necesario el aporte de documentación gráfica anexa (figura 144) y normaliza su empleo y la forma de registro (figuras 145 y 146) y orden (figuras 147 y 148).

Abordada la prediagnosia, previa a la fase de Proyecto, se despliega un

<sup>51</sup> Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico [[http://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/conservacion-y-restauracion/intervenciones/documentos/1138899326414\\_protocolo\\_1.pdf](http://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/conservacion-y-restauracion/intervenciones/documentos/1138899326414_protocolo_1.pdf)].

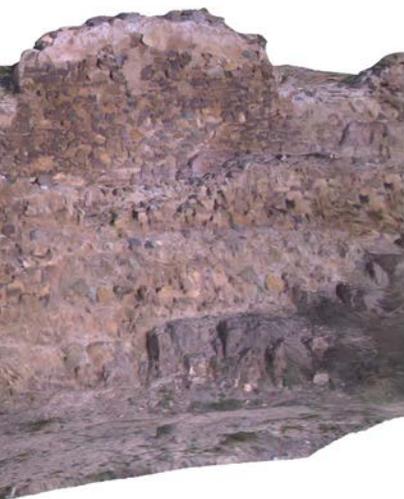


Figura 144 (superior izquierda). Perspectiva hiperrealista generada con fotogrametría. Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 145 (superior derecha). Vista aérea lateral noroeste. Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 146 (central derecha). Vista aérea lateral sureste. Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 147 (inferior izquierda) y figura 148 (inferior derecha). Ortofotografía fotogramétrica de precisión métrica. Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor.

procedimiento de investigación y dictamen que, en caso necesario, deriva en la segunda fase de ejecución.

#### **4.1.3. La fotogrametría en la fase de conocimiento**

A continuación, con el objetivo prioritario de contraste entre la propuesta teórica desarrollada a lo largo del presente apartado (4.1.) y un ejemplo concreto, se espera demostrar cómo la fotogrametría es una herramienta de aplicación práctica y resolutive en un sistema de gestión de información integral.

El caso práctico se ha escogido procurando que, por sus particularidades, se pudieran poner a prueba la totalidad de las afirmaciones tratadas en este capítulo. Concluido el desarrollo práctico de esta FASE 01, se pasará a elaborar un análisis crítico del resultado obtenido, que permita evaluar el potencial real de la propuesta. Con esta documentación se dispondrán, en forma de conclusiones, ya en el capítulo final de la tesis una revisión contrastada de la propuesta ensayada.

Como se ha podido comprobar en la fase de revisión bibliográfica, normativa y estado del arte de proyectos de restauración llevada a cabo sobre los estudios previos de investigación y diagnóstico, ciertamente, la mayoría de memorias de proyecto de restauración no contemplan la totalidad de los datos mínimos necesarios para una primera comprensión del bien patrimonial. Estos estudios son, por otro lado, imprescindibles para una correcta interpretación, conocimiento y deducción de la diagnosis que resuelva las patologías o necesidades más adecuadas y que nos confieran la oportunidad de aplicar criterios con rigor científico en la redacción, primero, de un adecuado proyecto de intervención.

Al igual que la reseña histórica está elaborada consecuentemente con el trabajo previsto, la documentación fotográfica en esta primera fase de intervención es prácticamente inexistente y, la gráfica, sólo contempla los planos del estado inicial y, en algunos casos, los planos donde se subrayan las zonas sobre las que se va a actuar o en las que es necesario proceder (Fontela, 1997 p. 277).

La documentación fotográfica de los estados históricos del bien, de su situación previa a la ejecución de las intervenciones, así como el derivado del desarrollo de anteriores actuaciones, son ficheros que no sólo son fuentes gráficas de trascendental importancia de cara al desarrollo del futuro proyecto, sino que están contemplados en algunas recomendaciones y normas de ámbito internacional (capítulo 2.1.) pues, al fin y al cabo, acentuar la comprensión del patrimonio conduce a un respeto y conciencia de la necesidad de conservación (Morales, 1998).

#### 4.1.3.1. *Antecedentes*

La elección, en forma de caso práctico, que se presenta a continuación se efectuó tras haber considerado diversas alternativas tanto de proyectos elaborados en torno a nuestro ámbito más cercano (Región de Murcia), como entre otros ejemplos relevantes y a los que teníamos acceso dentro del panorama Nacional.

Esta primera fase de conocimiento en torno a este bien patrimonial se desarrolla con la intención de recabar la documentación necesaria requerida antes de acometer la redacción del proyecto de Consolidación y Refuerzo de Muro y Petril en Zona Norte del Baluarte de la Alcazaba<sup>52</sup>. El organismo encargante es el Patronato de la Alhambra y el Generalife de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

El equipo de trabajo involucrado en esta fase de intervención es dirigido por el arquitecto Francisco Javier López Martínez y la colaboración de Teresa Koffler Urbano (Arqueólogo), Juan Molina Gaitán (Arquitecto Técnico, Arquitecto), Ana Palanco Noguerol (Arqueólogo), Antonio Puertas Contreras (Arquitecto Técnico, Ingeniero de Edificación), Ricardo Sánchez Garre (Arquitecto), José Enrique Segura Valera (Ingeniero de Edificación y Arquitecto Técnico), Grupo de Investigación “Estudio y conservación de materiales de construcción en el Patrimonio Arquitectónico” de la Universidad de Granada, con los doctores Ana Luque, Lucía Linares Fernández y Eduardo Sebastián Pardo y la ayuda de los técnicos del PAG: Francisco Lamolda Álvarez, Jefe del Servicio de Conservación y Protección; Jorge Calancha de Passos, Jefe de Departamento de Obras y Mantenimiento y Jesús Bermúdez López; Asesor Técnico de Arqueología.

---

52 O también conocido como Revellín de la Alcazaba o Baluarte de la Mezquita sobre Darro.

#### 4.1.3.2. Contexto geográfico-histórico

La Alhambra, o “la roja” por las tierras donde se asienta, está situada sobre la colina de la Sabika que, hacia el interior, se adentra en una fértil vega. Es considerada el último bastión de Sierra Nevada y enclavada frente a las cuencas de los ríos Darro y Genil. Este conjunto, se constituye gradualmente con el añadido de nuevas construcciones que se agrupan como células y enriquecen el desarrollo urbano y arquitectónico. La supremacía del lugar y el control territorial responde a una decisión de tipo geopolítico muy acorde con la mentalidad medieval donde tanto el poder militar como el ámbito administrativo requerían de un lugar que contuviese la presencia física del poder sobre la ciudad y la vez que se mantenía separado de ella.

La Alhambra en general, considerada como ciudadela, pues en su interior existía una auténtica ciudad dotada de infraestructuras y medios necesarios para la vida pero que, no obstante, está reservada a la realeza, presenta una forma alargada e irregular, adaptada al terreno y sus irregularidades donde el Baluarte que se pretende estudiar y documentar en particular, sirve de muralla defensiva a la zona noroeste, con una materialidad compuesta por tierras, sillares y ladrillos cerámicos y unos gruesos muros.

La unidad defensiva objeto de estudio es el Baluarte de la Alcazaba. Se sitúa en el extremo occidental de la Alcazaba y del cerro de la Sabika, proyectándose sobre la Cuesta de Gomérez y la Plaza Nueva, aunque hoy la visión desde esos lugares resulta difícil debido a la masa arbórea que lo envuelve.

Está rodeado, en su conjunto, de tierra y vegetación. Por el exterior (norte) de la zona de intervención discurre un camino que conduce, principalmente, a la Puerta de las Armas (figura 149) y a los pies de la Torre de la Vela en el margen oeste del complejo patrimonial, a unos 400 metros del Palacio de Carlos V a través de la Calle Real de la Alhambra y a 2,5 kilómetros a pie del Casco Histórico de Granada.

Figura 149 (derecha). Alzado fotogramétrico de la Puerta de las Armas, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.







tección y conservación de todo el Conjunto Monumental y su entorno<sup>54</sup>.

Al tratarse de un caso que proporciona gran diversidad de características y disposiciones peculiares, entre otras, destacamos algunas de razones que hicieron considerar este ejemplo como apropiado:

- Permite adentrarnos en las labores de conservación de un bien declarado Patrimonio Mundial.
- Se trata de un caso especialmente delicado pues muestra la interacción entre diferentes organismos, organizaciones y profesionales sobre aspectos documentales, normativos y de actuación. De igual forma, muestra la interacción de roles entre promotor, proveedor y los usuarios.
- Demuestra la evolución documental e investigadora desde su recogida y hasta su uso, pasando por la gestión y entrada en archivo.
- Por último, se desarrolla en un contexto multidisciplinar (pues aparecen profesionales y expertos de la arquitectura, del área de la topografía-geomática y de la arqueología) y multinacional.

La etapa de trabajo contemplada en torno al Baluarte explora las peculiaridades de actuación relacionadas con la primera fase de conocimiento de los criterios de intervención propuestos (y practicados en esta tesis) por Rehabimed. En esta, por tanto, se describen diferentes metodologías de representación y registro geométrico, así como de análisis estratigráfico del patrimonio arquitectónico y que serán empleadas en torno a la primera fase de conocimiento del patrimonio sobre el que se actúa.

La elección, en particular, de este baluarte defensivo es debida a varias circunstancias:

<sup>54</sup> Anuncio de la DPG, por el que se somete a información pública y se notifica el trámite de audiencia en el procedimiento de Declaración de BIC, 2003; Decreto107/2004, de 23 de marzo, por el que se declara y delimita el Bien de Interés Cultural, con la categoría de Monumento, de la Alhambra y el Generalife de Granada. 16/04/2004, 9368; Real Decreto 1109/1979, de 20 de febrero, por el que se determinan a efectos urbanísticos y de uso del suelo el recinto y zona de protección del conjunto monumental de la Alhambra y Generalife. 1979, 10773 p.; Resolución de 25 de octubre de 2002, de la DGBBCC, por la que se incoa procedimiento para la declaración y delimitación como Bien de Interés Cultural, con la categoría de Monumento, a favor de la Alhambra y Generalife de Granada. 2002, Pp. 22500 - 22502.



- La primera, ya tratada en el apartado 4.1.3.2 es su ubicación. Con excelente posición geográfica y estratégica que supone un reto de estacionamiento al sistema fotogramétrico.
- La segunda su necesario análisis y documentación en aras de una adecuada revisión formal y de conservación.

- Y la tercera por la necesidad de inventariar un patrimonio que, en el momento en que se solicita la revisión gráfica en la fase de conocimiento, cuenta con un petril defensivo en riesgo de ruina con un gran porcentaje de su superficie volada (figura 152) dejando sin protección la zona al contar con escaso apoyo y, por tanto, suponiendo un peligro tanto para la integridad del monumento como para las personas.

No se pretende conocer el Baluarte con la intención de actuar posteriormente en la total restauración del mismo, sino para establecer la eliminación del peligro de derrumbe del tramo de petril afectado, la conservación, reintegración parcial y restauración de un tramo de muro, la mejora de las conducciones de agua, y el comienzo de investigaciones que posibiliten restauraciones posteriores.

En resumen, y tras las labores de conocimiento, se pretende:

- Eliminar el peligro de caída de un tramo de petril.
- Evitar que el agua siga minando la base del muro norte, bajo la tronera nº 5.

Figura 152. Cortina norte visto desde el exterior. Petril del Baluarte afectado por peligro de ruina. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada)



- Limpiar y consolidar el muro norte.
- Reforzar y restaurar la zona de muro más afectada, incluido su pretil.
- Mejorar el conocimiento de la zona con metodología arqueológica.

Así, la decisión de emprender esta revisión con la fotogrametría como herramienta documental reside, fundamentalmente, en:

- Constituye una forma de conservación y difusión permitida por la legislación y muy próxima a las tendencias actuales de tratamiento de la información.
- Al tratarse de un bien patrimonial en el que las fases de trabajo sobre el mismo conllevan cambios no perceptibles con facilidad (por ejemplo las labores de intervención posteriores en el alzado del baluarte o el apeo y sustento de andamios en la zona) y con una metodología tradicional de actuación, le confieren a esta información más valía según pase el tiempo (y, consecuentemente, será un reflejo de la realidad antes de actuar sobre ella).
- Conforman un sistema documental fácilmente almacenable, tratable y difundible.
- El repositorio se puede adaptar a los requisitos variables fruto de la ejecución de intervención.
- La documentación generada es susceptible de ser financiada mediante fuentes externas como convocatorias del Ministerio de Cultura u otras entidades.
- Representa una herramienta capaz de facultarnos a estudiar las etapas de actuación posteriores y sus consecuencias en los tres ejes del espacio.

Consecuentemente, las necesidades concretas de esta fase son la documentación integral del alzado norte del Baluarte de la Alcazaba con la intención de conocer en detalle sus materiales y estado general previo a la redacción de un proyecto de intervención. De igual forma, y dado que previamente se cuenta con documentación gráfica de la zona (figura 153) elaborada por la Comisión Técnica de la Alhambra de Granada en años anteriores, se podrá evaluar la posible deformación ocurrida en este período y la distorsión de la técnica tradicional con respecto a la fotogrametría.

Las labores fotogramétricas desarrolladas en torno a este bien han sido:

- Trabajo de campo. Toma de datos y reportaje fotográfico.
- Trabajo de gabinete. Levantamiento fotogramétrico y obtención del modelo.

Así mismo, el método empleado ha sido:

- Structure from Motion (SfM).

El instrumental:

- Cinta métrica (modelo no definido).
- Distanciómetro láser de mano Leica DISTO Classic 5a.
- Cámara Sony Nex-5 con objetivo 18-55 mm.

El hardware y software:

- Ordenador portátil Sony Vaio Fit Multi-flip.
- PhotoScan Profesional 0.9.0.
- AutoCAD 2012.

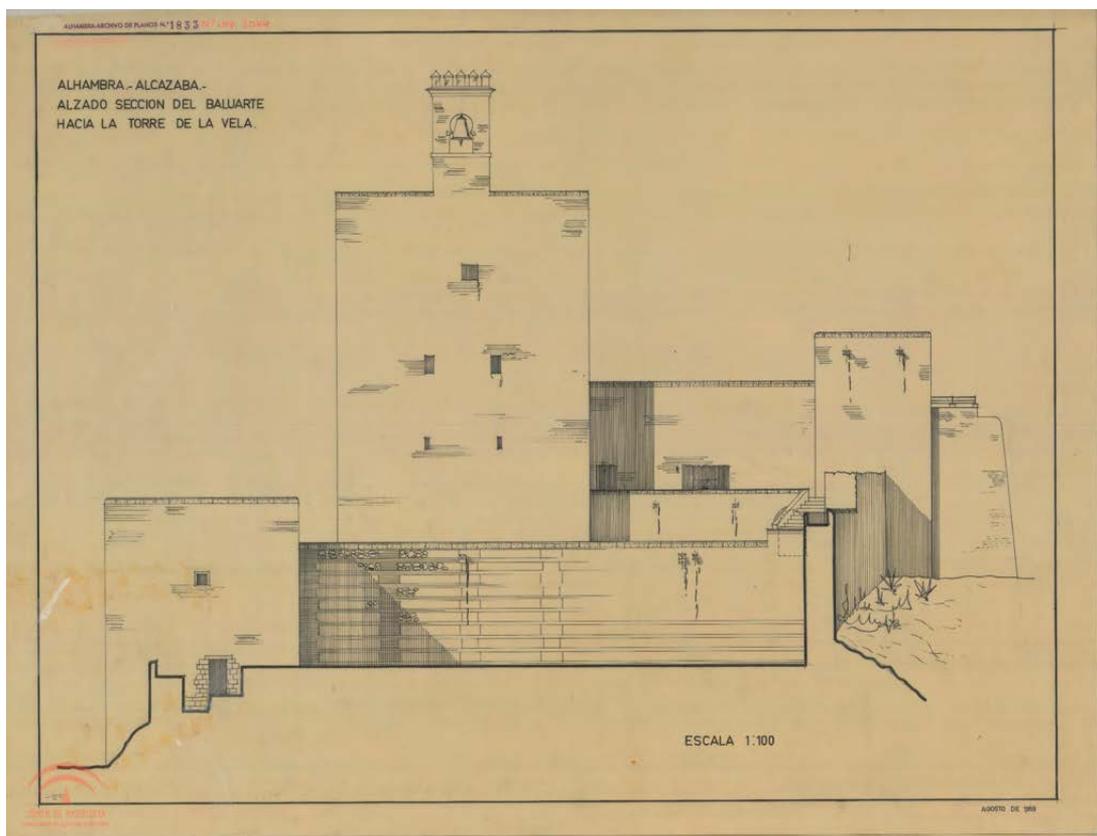


Figura 153. Sección transversal del conjunto del Baluarte de la Alcazaba bajo la Torre de la Vela. Fuente: Servicio de Protección y Conservación de la Alhambra.

#### 4.1.3.4. Ejecución de la propuesta. Puesta en práctica de las etapas de trabajo fotogramétrico

Dado que, como hemos explicado con anterioridad, la ciudadela de la Alhambra se encuentra delimitada por accidentes geográficos naturales como desniveles, vaguadas, barrancos, etc. y en un entorno cuya vegetación arbórea y arbustiva está protegida (tal y como especifica el Decreto 43/2017 de 14 de marzo publicado en el Boletín Oficial de la Junta de Andalucía en su artículo 7.6 epígrafe "a" y "b"<sup>55</sup>) es necesario contar, en la medida de lo posible, con técnicas no invasivas que permitan evidenciar el estado antes de la intervención.

Esta justificación nos lleva a situarnos en torno a una extensión aproximada de 39 metros de alzado longitudinal orientación norte en el que es necesaria la mediación de medios fotogramétricos terrestres con la intención de documentar tanto a nivel general como particular y detalle aquellas alteraciones fruto de la degradación natural de los materiales y de la interacción con su entorno.

Tal y como se reseña en el capítulo 3 de esta tesis, la implicación de la fotogrametría digital en un levantamiento gráfico se desarrolla en torno a dos partes bien diferenciadas que, a su vez, están íntimamente vinculadas con la intención de conseguir un adecuado resultado: el trabajo de campo y el trabajo de gabinete.

Ambas labores, y ante un caso práctico en el que se pretende establecer la sucesión de actividades realizadas para el levantamiento del Baluarte en fase de conocimiento del patrimonio, se determina que las labores de catalogación general se van a distribuir en:

- Primera toma (figura 154) de contacto con el bien patrimonial en la que se establecen los límites de acceso y se estipula el mejor proceso de estacionamiento de acuerdo con las posibilidades de alcan-

<sup>55</sup> a) La eliminación de la vegetación arbórea o arbustiva autóctona, a excepción de la necesaria para las labores de conservación de las masas forestales. b) La eliminación o alteración de las condiciones de cultivo y desarrollo de árboles y arboledas singulares [http://www.juntadeandalucia.es/eboja/2017/59/BOJA17-059-00038-5243-01\_00110545.pdf].



ce, las necesidades y precisión gráfica requerida así como los medios auxiliares disponibles.

- La segunda visita en la que se realiza un reportaje fotográfico integral del Baluarte con el que definir el alzado general del mismo.

- Una tercera y definitiva en la que se fotografían, detalladamente (figura 155), las troneras del Baluarte y el encuentro del mismo con la zona baja de la Torre de los Hidalgos y el lado más cercano a la ciudad de Granada con el Baluarte de la Torre de la Vela o Baluarte de la Mezquita de sobre Darro en la que se da por concluido el trabajo gráfico.

Mientras, las tareas de catalogación particulares derivadas de la intervención fotogramétrica nos proporcionan:

- Inventariado gráfico y fotográfico de detalles, encuentros y aberturas (figuras 156, 157, 158 y 159).

Figura 154. Primera toma de contacto con la zona. Se aprovecha la visita para mostrar el entorno donde se realizará la intervención a los alumnos de 5º curso de la Asignatura Protección, Restauración y Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico del Grado en Arquitectura de la Escuela Politécnica Superior de la UCAM. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.



- Control documental de peculiaridades encontradas durante las tres visitas realizadas y bajo los requerimientos del personal técnico encargado de su posterior redacción de proyecto e intervención.
- Representación y recreación tridimensional que permita estimar la influencia de las futuras actuaciones sobre el paramento y la zona de peto de protección de la parte alta del Baluarte.
- Levantamiento de alzado, secciones y modelos 3D que documenten su estado y permitan continuar las investigaciones sin tener contacto directo.

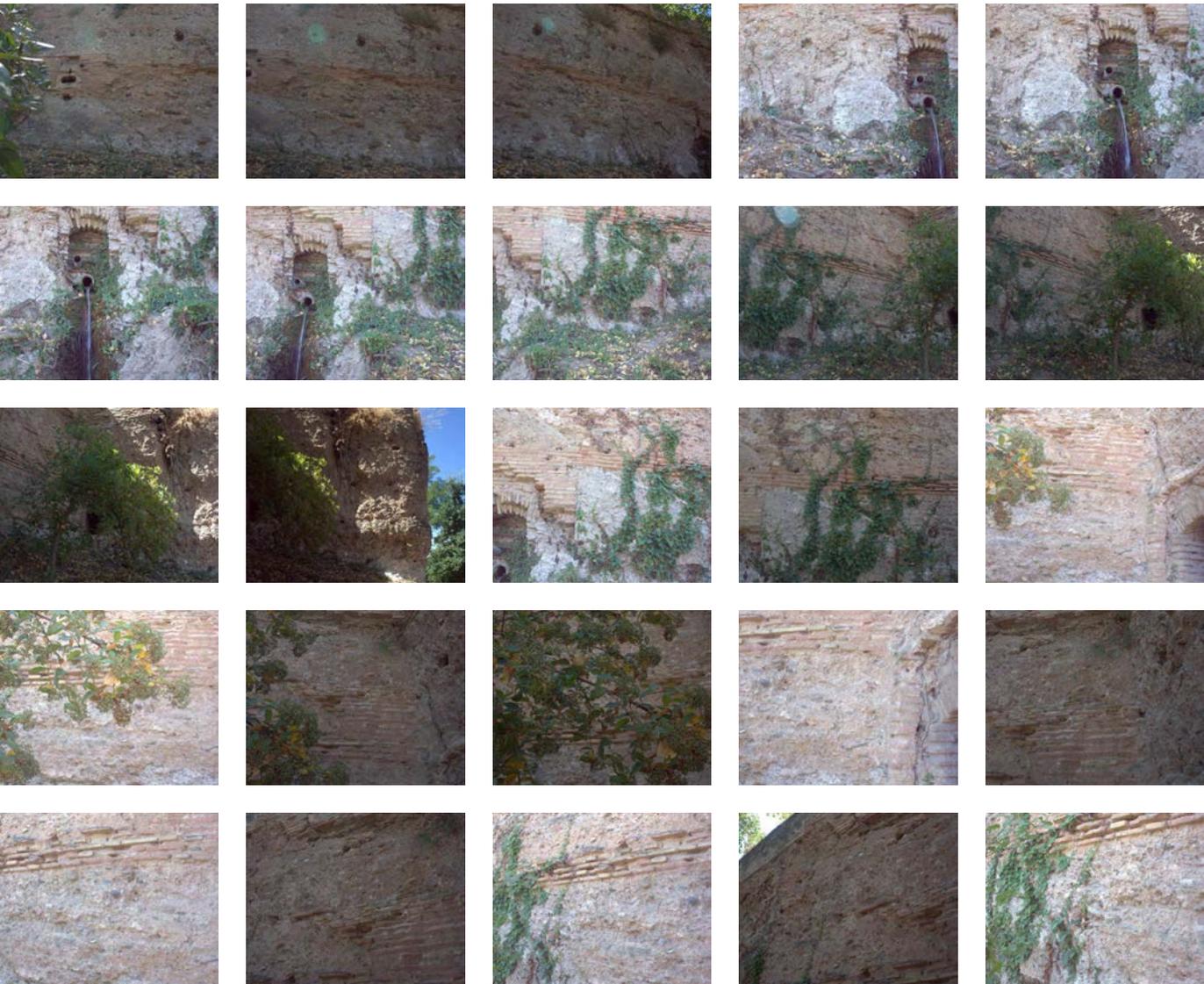


Figura 155. Collage con parte del reportaje fotográfico extenso realizado para la documentación fotogramétrica del bien patrimonial. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.



Figura 156 (izquierda). Tronera sobre la Torre de los Hidalgos. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 157 (centro-izquierda). Tronera nº 4 en la cortina norte. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 158 (centro-derecha). Tronera nº 6 en el flanco del baluarte. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 159 (derecha). Salida de agua a través de la tronera nº 5, cayendo al pie semienterrado de la muralla. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

### a. Trabajo de campo

En esta etapa es donde obtendremos tanto las fotografías del Baluarte y su entorno más cercano como la recopilación de medidas de referencia necesarias para el posterior escalado del modelo tridimensional generado y de las ortofotos obtenidas. Previamente al comienzo de estas labores, y como se ha definido en la introducción anterior, esta determinación estacionaria para la captura fotogramétrica se ha definido previamente siguiendo la mejor estrategia de acuerdo con los requeri-



Figura 160. Entorno de trabajo donde, posteriormente, se realizará la captura fotogramétrica. Cortina norte y flanco del Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

mientos representativos, el desnivel del terreno y la flora del entorno (figura 160).

Para esta consecución fotográfica se realiza un barrido por toda la superficie de actuación identificando, definiendo y localizando los elementos a inventariar y controlar por todo el alzado. Asimismo, y dado que la documentación gráfica generada tendrá, según se nos indica por parte de la Dirección Técnica, validez en fases posteriores de intervención (como proyecto y ejecución) trabajamos bajo niveles de tolerancia estrictos necesarios para reproducir la morfología del objeto.

Dada la necesidad de referencias métricas para que el software fotogramétrico pueda dotar de información dimensional, escalar y de orientación al modelo,

se recurre, por un lado, al distanciómetro láser (láser de mano o telémetro láser) cuyo fabricante y modelo de referencia ya conocemos para esta tesis doctoral y, por otro, se acude a la información, de mayor precisión y acometida con estación total de medición con prisma por método tradicional de levantamiento topográfico, que estaba sujeta a actuaciones de levantamiento y conservación realizadas anteriormente en la zona.



De aquí, y según el plan metodológico de investigación propuesto en la etapa 02 del apartado 3.2. de esta tesis, una adecuada actuación en torno a un buen proyecto fotográfico en fase de campo sería:

- Estudio del lugar. Se realiza una inspección visual alrededor del baluarte en general teniendo en cuenta, dado el carácter particular del ejemplo propuesto, que nos encontramos en un entorno de pendientes acusadas por lo que no es viable (ni cómodo) el empleo de trípode, que la iluminación, en todo caso, es natural y puede presentar sombras del arbolado circundante, que no existe tráfico peatonal o rodado cercano y que los obstáculos (únicamente flora) estarán presentes durante todo el proceso por lo que será necesario hacer uso de la herramienta máscara (cuya forma de trabajo y funciones han sido expuestas en el capítulo 3.3.6. de esta investigación) del software

de Agisoft durante el trabajo de gabinete.

- Documentación de apoyo. Se delinea un croquis general donde queda representada la orientación y las cotas principales. Así mismo, se realiza una toma fotográfica, no con intención fotogramétrica, pero que si facilitará la percepción del entorno.

- Puesta a punto del equipo fotográfico y toma de datos tanto del modelo de cámara empleado como de las especificaciones en ella establecidas en el momento de la captura (objetivo, formato de imagen, etc.).

- Elaboración de proyecto de estacionamiento y captura fotográfica. Se determina la mejor relación de distancias entre puntos de estación y/o captura así como mantener una referencia de solapes en todo el proceso. Se comienza en el lateral este y se va desarrollando la toma fotográfica hacia la derecha (oeste) atendiendo a que no queden zonas sombreadas a

las que se hizo referencia en el apartado 3.2.4.

- Comprobar todo el trabajo realizado antes de abandonar el lugar.

En este proceso distinguimos, como dijimos anteriormente, dos visitas de trabajo con captura fotográfica a nivel del suelo: Una con carácter global, para la confección de un alzado integral del lateral del Baluarte y otra en la que se incidirá en aquellas zonas en las que, por motivos específicos se requiera de una documentación gráfica y métrica en detalle.

En ambos casos la toma de fotos se realiza con la cámara de referencia empleada en toda la investigación, Sony Nex-5 CMOS APS-C de 14 Megapíxeles en ISO 200, enfoque automático y objetivo con distancia focal fija a 18 mm.

La documentación fotogramétrica derivada de esta intervención tiene, por tanto, un carácter de archivo integral con el que se obtienen representaciones gráficas cuidadas, precisas y útiles tanto para la fase 01 de documentación como para la fase de trabajo siguiente (02 de redacción de proyecto) puesto que el grado de análisis, investigación o difusión puede ampliarse para determinados ámbitos o elementos que despierten especial interés en circunstancias futuras, permitiendo efectuar confirmaciones posteriores o generar documentación nueva incluso cuando el elemento o zona ya no sea accesible o haya sufrido variaciones.

Etapa	Nº de fotografías	Tiempos
Volumen integral	269	69 minutos 12 segundos
Troneras	45	17 minutos 42 segundos
Encuentro con Torre de los Hidalgos	88	21 minutos 29 segundos
Baluarte de la Alcazaba	59	30 minutos 37 segundos

Tabla 010. Tabla resumen por zonas de trabajo con sus respectivos rendimientos fotográficos y temporales. Información detallada obtenida de la libreta de campo y contrastada con los metadatos de las imágenes. Fuente: Autor.

El número fotografías y los tiempos de trabajo excedentes para las tomas fotográficas en cada una de las visitas queda desglosado según la tabla anterior (tabla 010).

Al contar con la posibilidad de desplazamiento a pie por el entorno del Baluarte la captura fotográfica se simplifica y permite documentar sin mayor problema aquellas partes de interés sin necesidad de recurrir a elementos auxiliares de apoyo, amplificación o plataforma. Sólo el cuidado por la vegetación cercana propiciaba leves variaciones en torno a la separación entre estaciones de toma fotográfica.

Para el alzado general se barre fotográficamente (figura 161) de izquierda a derecha del alzado (este-oeste). Se efectúa una estimación de estaciones equidistantes cada metro (a veces modificado por los condicionantes ya descritos) y una distancia entre lugar de captura y objeto a documentar de 5 metros con lo que, siguiendo lo estipulado como ordenación óptima del apartado 3.2.4. de esta misma tesis, guardamos una relación adecuada de distancias del 20%.

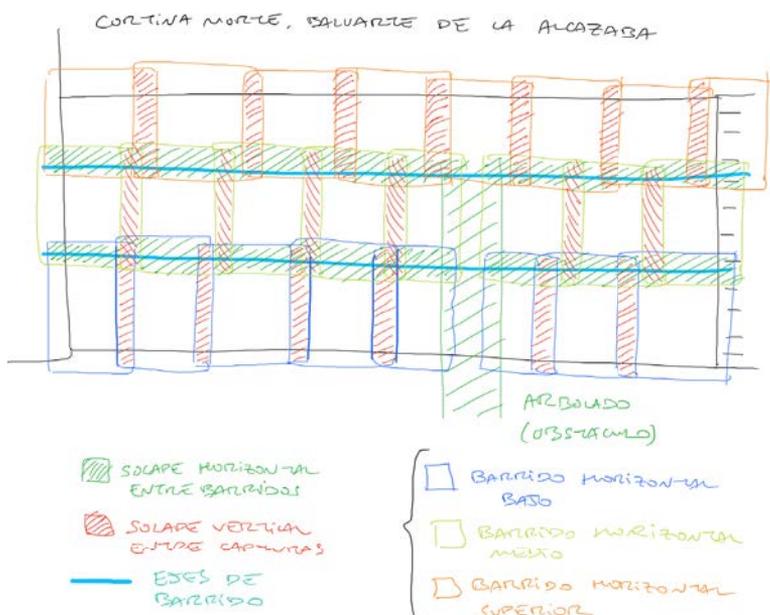


Figura 161. Representación croquizada del itinerario de trabajo. Barridos y solapes. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Además de esto, y dado que es preciso el cabeceo de de la cámara para contemplar, en altura, todo el paño, se realiza el recorrido por tres ocasiones para cada cabeceo siempre comenzando en la estación inicial al este del Baluarte y desplazándonos por las mismas estaciones, paralelamente al alzado, hasta concluir el recorrido y comenzar de nuevo con otra orientación del objetivo. Esto deriva en tres barridos horizontales para salvar la altura total con un solape del 60% aproximadamente entre ellos.

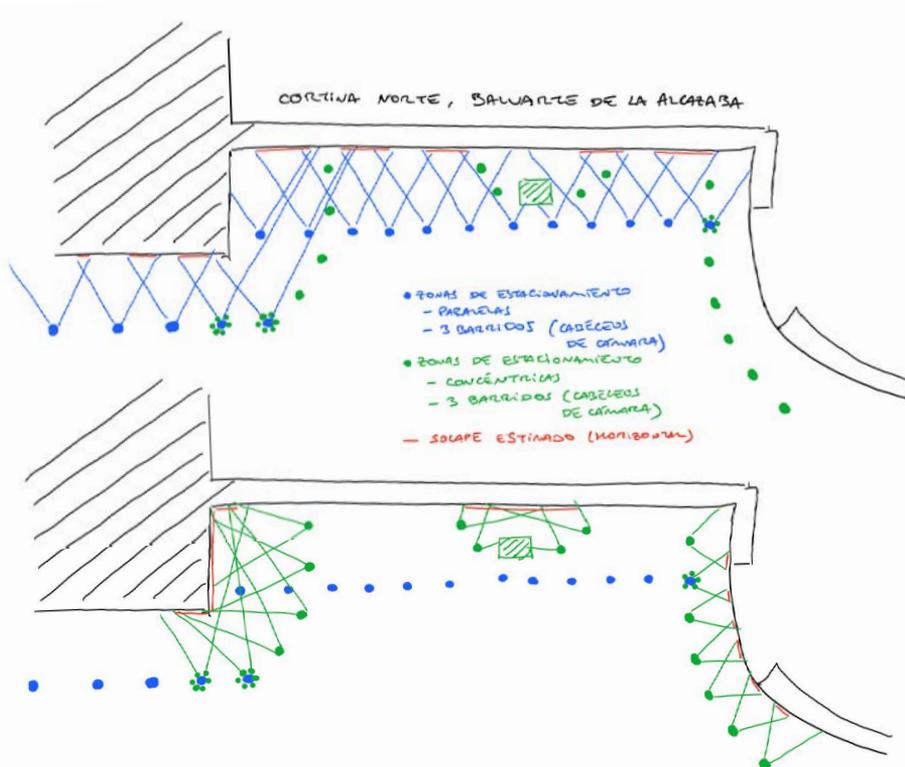


Figura 162. Croquis detallado de itinerario fotográfico en encuentros y zonas conflictivas. Itinerario de trabajo: barridos y solapes. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Finalmente, y para los casos en los que se realiza el levantamiento de los detalles constructivos, se sigue la misma metodología pero haciendo hincapié en documentar correctamente los rehundidos propios del muro de tierra, sus mampuestos y la fábrica de ladrillo interpuesta. Este refuerzo fotográfico es conseguido haciendo batidas fotográficas concéntricas y, en todo caso, equidistantes al bien patrimonial (figura 162).

b. Trabajo de gabinete

Empleando la documentación gráfica, documental y fotográfica recopilada en campo, y a través del software escogido para emplear la fotogrametría, Agisoft PhotoScan, y, posteriormente AutoCAD de Autodesk para el trazo del alzado lineal, determinaremos y obtendremos la representación ortogonal lineal de los alzados, secciones y detalles necesarios en esta fase de investigación y diagnóstico y con cuyo inventario, a posteriori, podremos mejorar su musealización, difusión, reconocimiento y valorización.

A partir de esta primera información fotográfica y su conexión, a la que se hizo referencia al final del capítulo 2º, con la que el software deduce la orientación y ubicación espacial de las cámaras con relación al cuerpo o entorno.

A continuación, y haciendo uso de las herramientas de PhotoScan, ejecutamos secuencialmente los pasos descritos en el apartado de procedimientos relativos a la construcción de modelos 3D basado en técnicas de SfM. Este texto nos deriva la siguiente exposición (tabla 011):

Actividad	Requerimiento				
	Volumen integral	Troneras	Encuentro con Torre de los Hidalgos	Baluarte de la Alcazaba	
Nº de fotografías	269	45	88	59	
Flujo de trabajo	Nube dispersa	195.819	32.903	84.625	518.359
	Nube densa	94.941.925	5.000.966	45.421.464	7.206.792
	Malla poligonal	6.684.690	1.000.192	8.965.774	1.444.593
	Texturizado	Si	Si	Si	Si
Tiempo de procesado	5 horas	3 horas	2 horas		
	14 min.	20 min.	59 min.	31 min.	
	22 seg.	20 seg.	11 seg.	54 seg.	
Uso de máscaras	Si	No	No	Si	

Tabla 011. Tabla resumen por zonas de actuación fotogramétrica. Fuente: Autor.

Gracias a la materialidad del Baluarte, a las condiciones lumínicas del entorno en los que se acude a realizar las fotografías, a la correcta correlación de distancias, así como los tiempos y parámetros fotográficos empleados podemos poner en evidencia la relativa sencillez con la que se acomete y obtiene documentación gráfica y de virtualización potencial para el modelado de detalles y estructuras tanto en formato bidimensional como tridimensional.

#### 4.1.3.5. Resultados: documentación, adecuación y optimización

En virtud de alcanzar una estrategia de valorización útil y dado que nos encontramos en la primera fase de intervención integral sobre el patrimonio, es importante abordar esta etapa inicial (casi previa) de conocimiento y documentación con la idea de Cadena Valorativa del Patrimonio Cultural (CVPC)<sup>56</sup>, aplicada en arqueología, y desarrollada originalmente por Felipe Criado-Boado (1960), arqueólogo, Miembro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y presidente del European Association of Archeologists<sup>57</sup> desde 2015.

Tomando como referencia la aplicación de la CVPC y ante la necesidad de diseñar estrategias de valorización y documentación, la cadena de valor del patrimonio cultural establece un patrón específico, muy similar al que tomamos como referencia en esta tesis, y que pretende los mismos principios pues constituye en fases de gestión la valorización y dimensión histórica del patrimonio, articulando su trabajo en fase de identificación, documentación, significación, valorización, conservación, puesta en valor y de Recepción.

Donde, en cada una de ellas, se va generando un efecto de amplificación y valor añadido con respecto a la fase anterior y donde se aplican distintas estrategias de producción de conocimiento. Con este, el modelo de trabajo integral aúna la investigación, la protección y la gestión.

Como aquí, en la fase de conocimiento, identificación, definición o documentación, se requiere generar una información gráfica detallada (figura 163) que, posteriormente, pueda ser útil en labores de actuación y que, por supuesto, de respuesta

---

<sup>56</sup> Cadena de Valor [Boado, F. C. (1996). Hacia un modelo integrado de investigación y gestión del Patrimonio Histórico: la cadena interpretativa como propuesta. PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 4(16), 73-78.].

<sup>57</sup> [<https://www.e-a-a.org/>].

gráfica a la etapa de diagnóstico con sus consecuentes propuestas de trabajo, prioridades de intervención, etc.

Con todo ello, y justificada ya la necesidad e importancia del medio gráfico en esta primera fase, podemos concluir estableciendo unos contenidos mínimos exigibles para el conocimiento en cuanto a grafía se refiere donde, usando como referente el Protocolo nº1 de Informe Diagnóstico y propuesta de Intervención de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, tendremos:

Documentación gráfica exigible	Documentación gráfica vinculada
Identificación del Bien Cultural	Situación de la intervención
Localización	Área a conservar y superficies
Identificación física	Planimetría general
Bibliografía	Planimetría en plano de sección
Anexos	Informe fotográfico
	Materialidad y técnicas identificadas
	Identificación de inscripciones, marcas u otros

Tabla 012. Documentación gráfica exigible a intervenciones en fase de conocimiento. Fuente: Realizada por el autor de acuerdo con los requerimientos del Informe Diagnóstico y propuesta de Intervención de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

En este mismo documento, en su epígrafe 3º de Normas para la Elaboración, se especifica, además, que las figuras incorporadas en esta fase:

“... sin imposición específica, pues según el caso (pieza o detalle a resaltar) será más o menos interesante un tipo de representación: Gráficos con tramas, gráficos con color (líneas o rellenos), gráficos con detalle de foto localizada, dibujo, fotos (blanco y negro o color) y fotos con líneas o rellenos más o menos transparentes.”

Así, y dando respuesta a la documentación gráfica vinculada al mínimo exigible en esta fase tendremos, empleando el protocolo de actuación (capítulo 3) y la fotogrametría digital, estos resultados (figuras 164 y 165):



Figura 163. Perspectiva general del alzado norte desde la Mezquita del Partal a Torre de Mohamed, a la derecha el Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.





Figura 164. Perspectiva tridimensional generada por fotogrametría. Textura RGB. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.





Figura 165. Perspectiva tridimensional generada por fotogrametría. Textura RGB con la que se puede comprobar la morfología del alzado e identificar las zonas afectadas con pérdida de sección. Con esto es posible localizar la situación de las zonas a intervenir. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

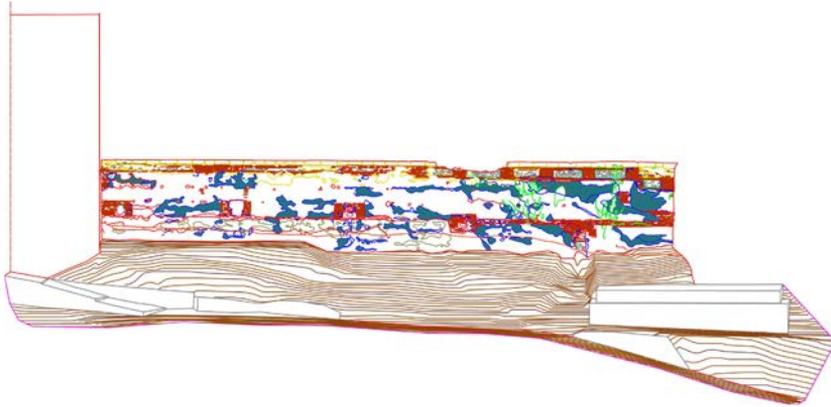


Figura 166. Detalle de alzado en el que se muestra, en tonos azules, los lugares en los que se ha desarrollado pérdida de material y es necesario intervenir. Representación CAD generada por el dibujo sobre lineal sobre planimetría fotogramétrica. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

- Situación de la intervención (figuras 166 y 167)

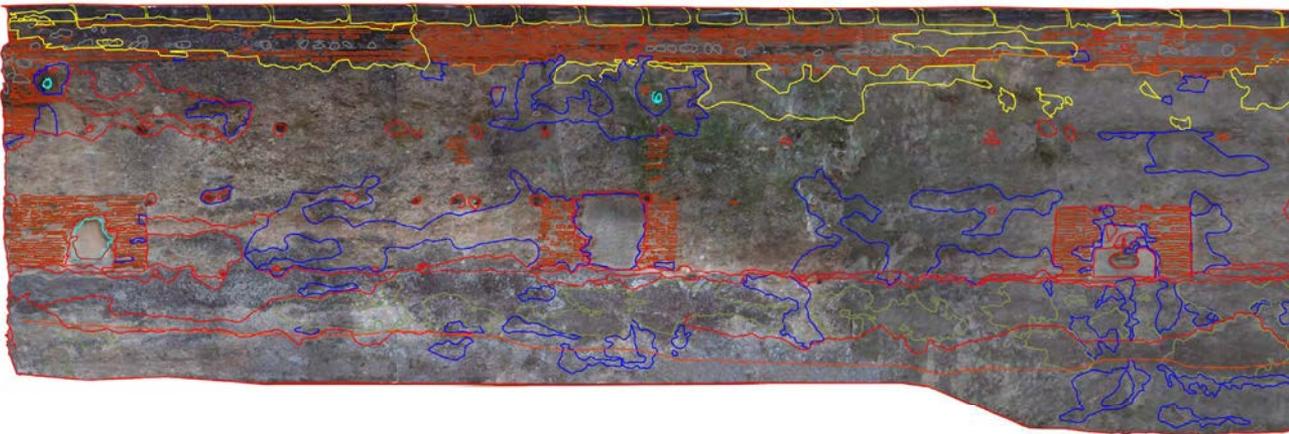
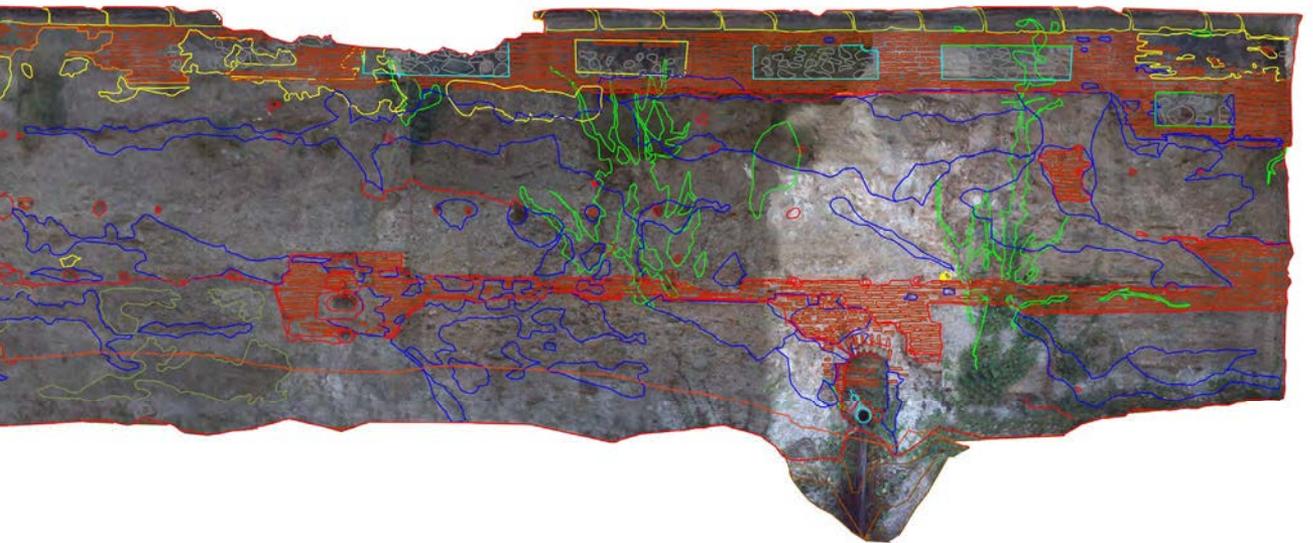


Figura 167. Ortofotografía de alta resolución generada por fotogrametría. Representación CAD lineal generada sobre la planimetría. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

- Leyenda:
- Vegetación
  - Revestimiento
  - Pérdida superficial
  - Pérdida de material
  - Sillería
  - Material cerámico
  - Mampostería
  - Tapial



- Área a conservar y superficies (figuras 168, 169 y 170)

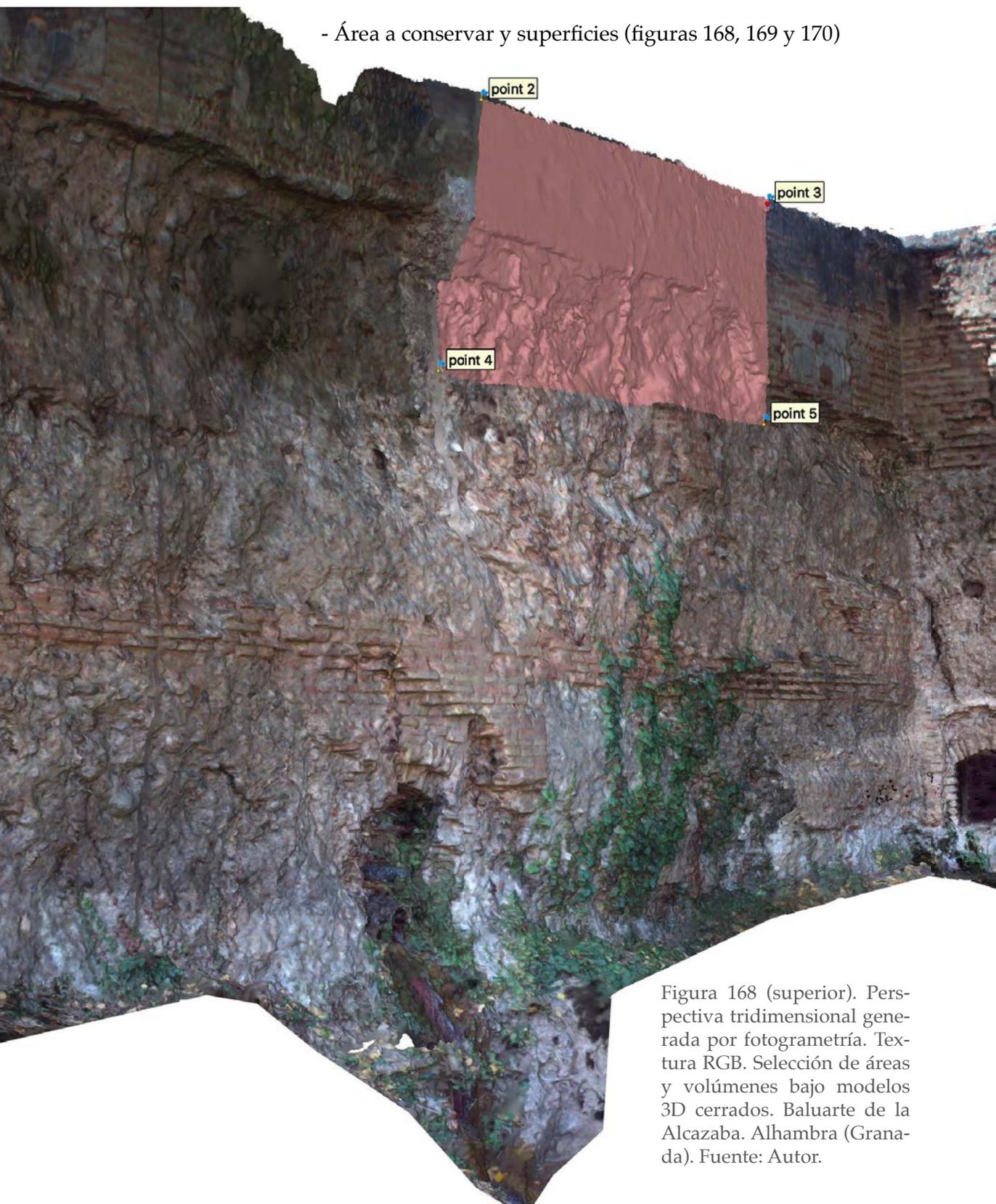


Figura 168 (superior). Perspectiva tridimensional generada por fotogrametría. Textura RGB. Selección de áreas y volúmenes bajo modelos 3D cerrados. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 169 (superior derecha). Perspectiva tridimensional generada por fotogrametría. Textura RGB. Selección de áreas y volúmenes asimétricos bajo modelos 3D cerrados. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.



Figura 170 (inferior derecha). Ortofotografía fotogramétrica de valor métrico para cálculo de superficies. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.



- Planimetría general (figuras 171 - 175)



Figura 172 (inferior). Ortofotografía fotorealística en detalle con valor métrico de la zona afectada por pérdida de material/sección. Planimetría general del Baluarte de la Alcazaba.



Figura 171. Ortofotografía fotorrealística con valor métrico. Planimetría general del Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

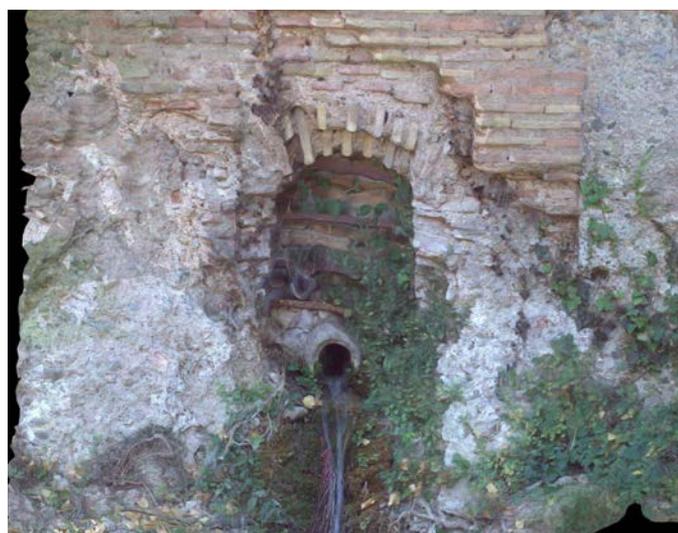
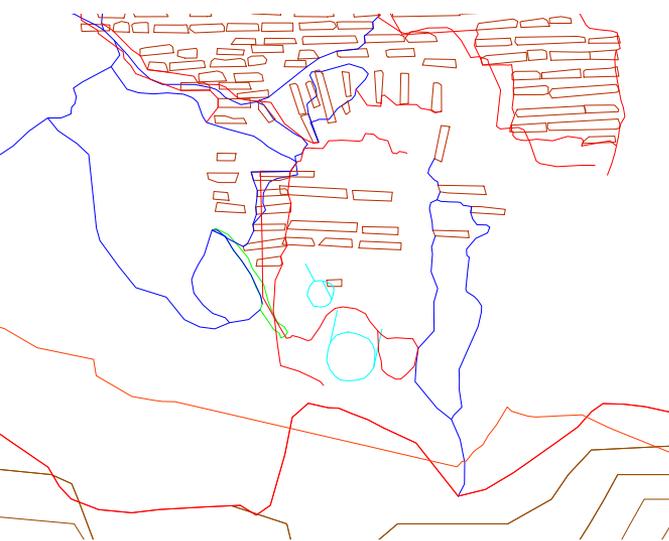


Figura 173 (superior izquierda). Planimetría preexistente del baluarte en el archivo de la Alhambra. Se aprecia la deformación de la zona de evacuación de aguas con respecto a la verdadera ortogonalidad. Fuente: Patronato Alhambra.

Figura 174 (superior derecha). Ortofotografía fotogramétrica generada en fase de conocimiento. Fuente: Autor.

Figura 175 (inferior). Corrección no fotogramétrica de perspectivas por otras aplicaciones como ASRix. Fuente: Patronato Alhambra.

- Planimetría en plano de sección (figuras 176, 177 y 178)

Figura 176 (inferior). Simulación de planos de sección sobre modelo tridimensional generado con fotogrametría digital. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

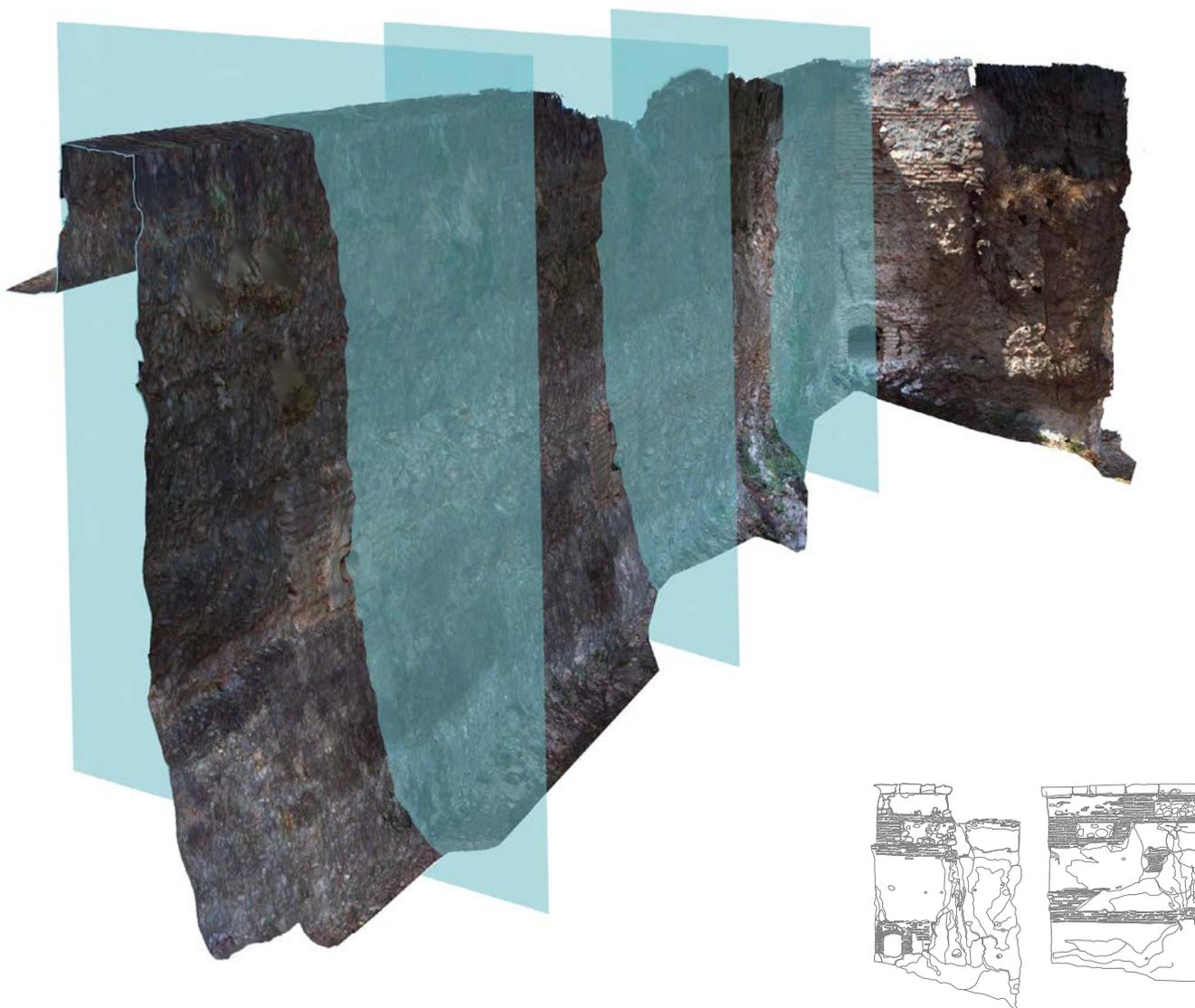
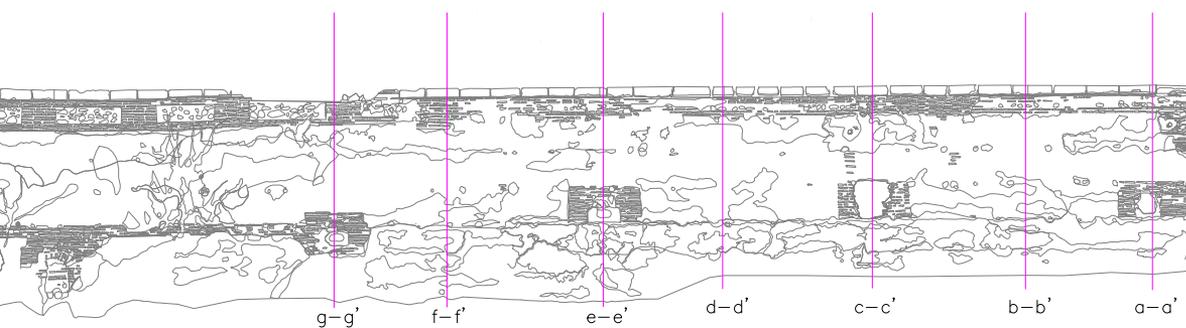




Figura 177. Secciones transversales generadas por sección sobre modelo tridimensional fotogramétrico. Baluarte de la Alcazaba. Autodesk Remake. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 178 (inferior). Planimetría CAD generada a través de ortofotografía fotogramétrica digital. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.



- Informe fotográfico (figura 179)



Figura 179. Collage con una muestra del informe fotográfico anexo generado de forma paralela al levantamiento fotogramétrico fruto de la amplia documentación gráfica desarrollada. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

- Identificación de inscripciones, marcas u otros (figura 180)

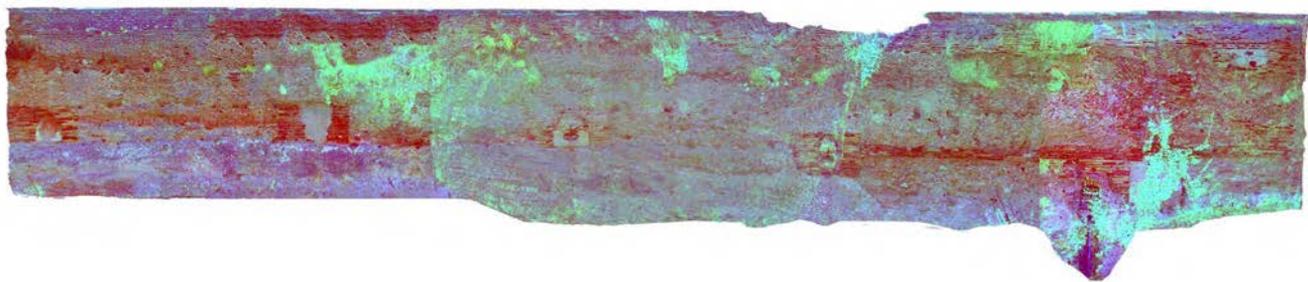


Figura 180. Estudio pictográfico con dstretch sobre la ortofotografía. Innecesario para el correcto estudio de este bien patrimonial pero posible con los resultados obtenidos con la fotogrametría digital. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

- Materialidad y técnicas identificadas (figuras 181, 182 y 183)

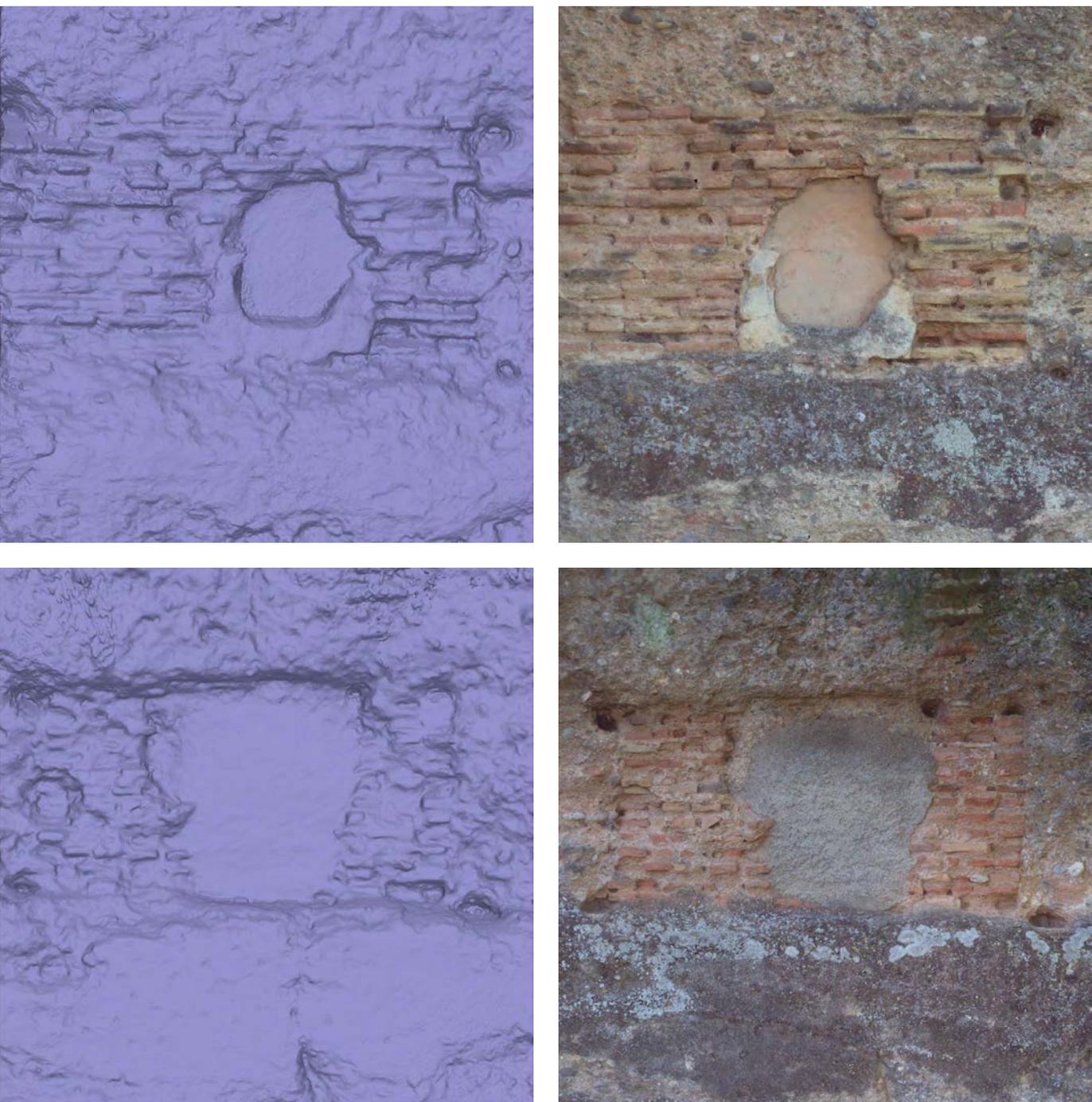


Figura 181. Tronera 1 (superior) y 2 (inferior). Correspondencia modelo tridimensional y ortofotografía del conjunto de troneras del Baluarte de la Alcazaba. Generadas con fotogrametría digital. Alta resolución fotorrealística para un estudio pormenorizado en gabinete de materiales y técnicas constructivas empleadas. Fuente: Autor.

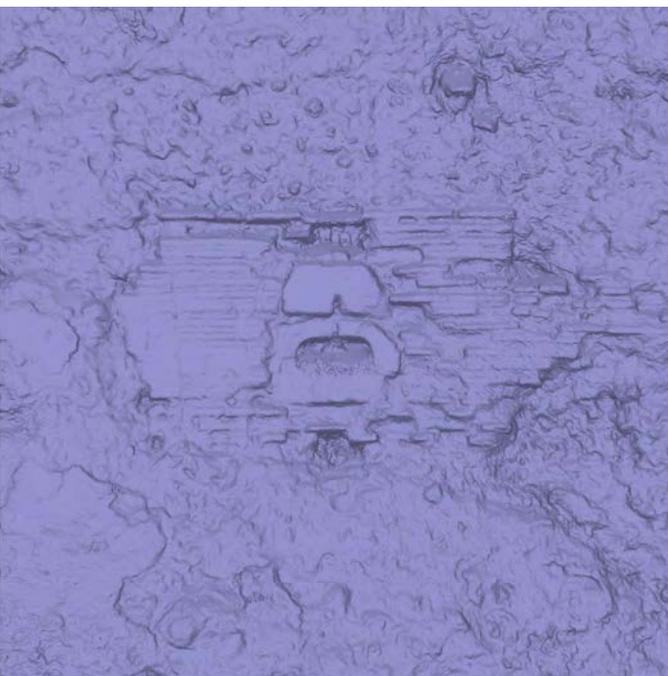
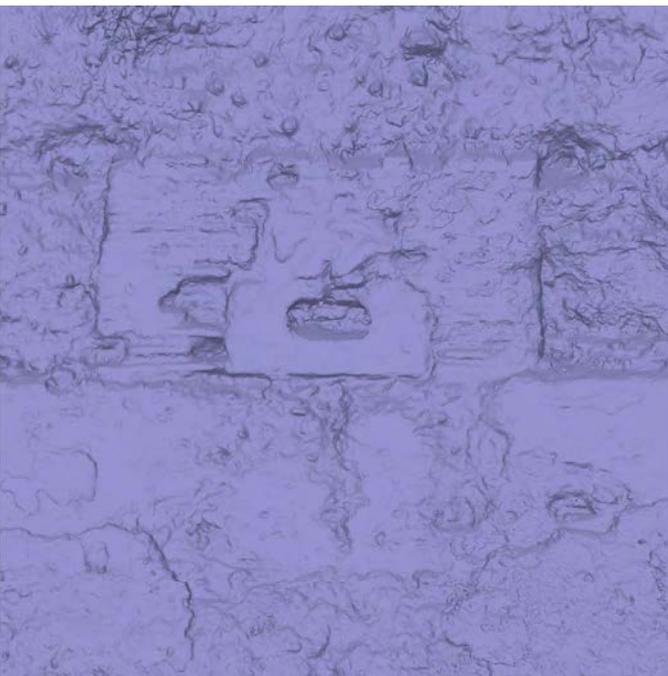


Figura 182. Tronera 3 (superior) y 4 (inferior). Correspondencia modelo tridimensional y ortofotografía del conjunto de troneras del Baluarte de la Alcazaba. Generadas con fotogrametría digital. Alta resolución fotorrealística para un estudio pormenorizado en gabinete de materiales y técnicas constructivas empleadas. Fuente: Autor.

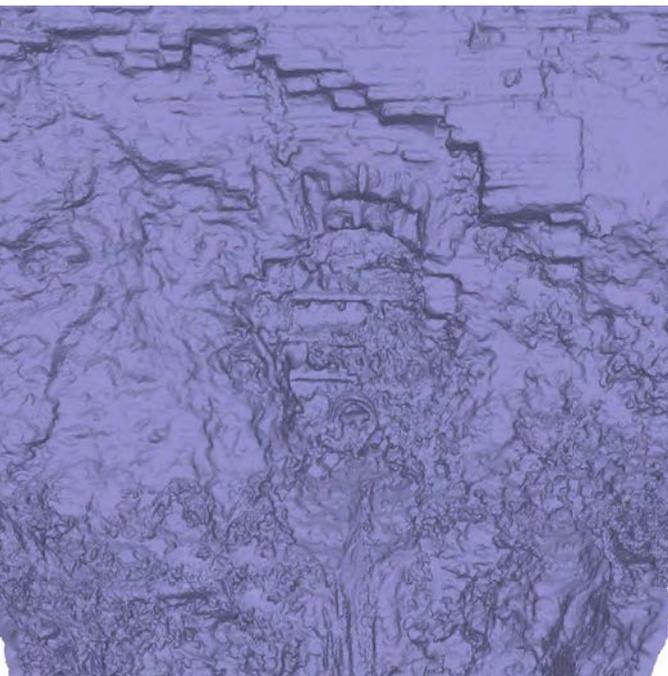
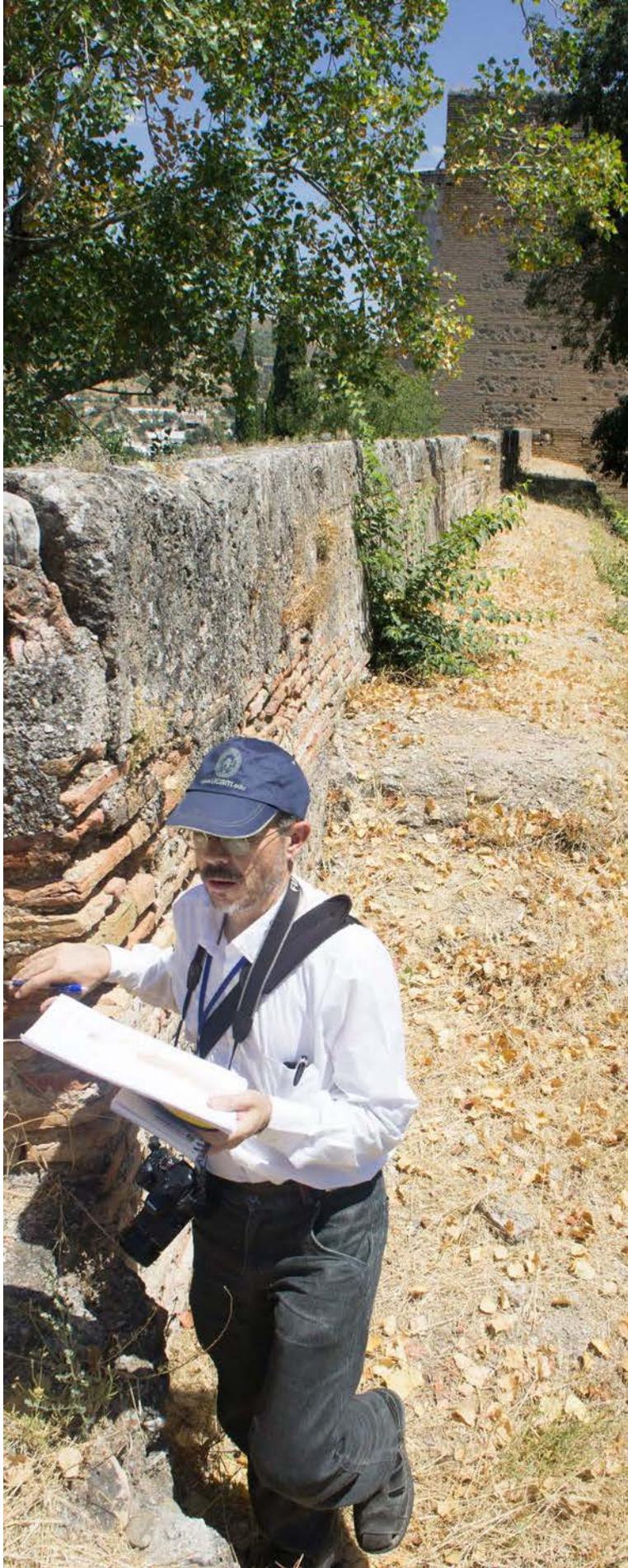


Figura 183. Tronera 5 (superior) y 6 (inferior). Correspondencia modelo tridimensional y ortofotografía del conjunto de troneras del Baluarte de la Alcazaba. Generadas con fotogrametría digital. Alta resolución fotorrealística para un estudio pormenorizado en gabinete de materiales y técnicas constructivas empleadas. Fuente: Autor.

Frente a estos requerimientos tan arcaicos y suaves (figura 184), podemos concluir afirmando que la fotogrametría es una herramienta útil, fiable y económica para la obtención de documentación gráfica relacionada con la fase de conocimiento de una intervención sobre el patrimonio, pues, valiéndonos de ella y atendiendo a los requerimientos normativos y administrativos que regulan esta etapa del proceso integral, se confirma que toda la documentación gráfica y fotográfica puede obtenerse directamente de ella o a través de los resultados alcanzados con ésta mejorando, en gran medida, los contenidos mínimos exigidos en algunas de los protocolos de referencia del panorama Nacional.

Si bien es cierto que, en algunas ocasiones, esta técnica requiere del apoyo en otras metodologías consideradas “clásicas”, como las matemáticas, física o topografía y geodesia (pues al fin y al cabo todas son materias afines),

Figura 184 (derecha). Toma de datos por métodos tradicionales. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.



una vez sobrepasado el soporte puntual, podemos alcanzar y representar aquellos ítems elementales de la fase de conocimiento.

Analizada la fase de investigación y conocimiento y señalada la documentación gráfica mínima exigida en esta, se detalla, en forma de tabla (tabla 013), una comparativa de resultados temporales<sup>56</sup> confrontando los rendimientos de trabajo en gabinete, en cuanto a conformar documentación gráfica se refiere, obtenidos por la fotogrametría con respecto a las metodologías habituales de representación.

Requerimiento	Metodología tradicional	Fotogrametría
Situación de la intervención	2 horas 15 minutos	29 minutos 1 segundo
Área y superficies a conservar	9 horas 35 minutos	24 minutos
Estado inicial	17 horas 30 minutos	3 horas 14 minutos
Planimetría general	25 horas	47 minutos 44 segundos
Planimetría en plano de sección	11 horas 30 minutos	37 minutos 24 segundos
Informe fotográfico	30 minutos	1 hora 9 minutos*
Materialidad y técnicas identificadas	45 minutos	33 minutos 45 segundos
Identificación de inscripciones, marcas u otros	No procede	No procede (documentación complementaria, 3 minutos)

\* Se corresponde con el tiempo de trabajo de campo para la toma integral de las fotografías del levantamiento por fotogrametría digital.

Tabla 013. Tabla comparativa de rendimientos entre los sistemas de trabajo tradicionales efectuados en esta misma etapa y los resultados obtenidos del empleo de la fotogrametría. Fuente: Autor.

<sup>56</sup> La cronología de tiempos se apoya en los resultados del rendimiento generado por el software y hardware de referencia en cada caso así como las especificaciones de calidad requeridas en cada requerimiento. El valor, expresado en minutos y segundos, viene definido por el sumatorio de tiempos de procesamiento de parámetros dado por el software para cada flujo de trabajo así como por el tiempo de conversión CAD en los casos en los que se precise.

#### 4.2. FASE 02. PROYECTO.

Todo proyecto de restauración y conservación necesita de un completo conocimiento y entendimiento material y estructural tanto en su origen como en los estados anteriores a la realización de la intervención. Así, también es importante conocer las técnicas que se aplicaron para su construcción, los fenómenos que le han afectado y las alteraciones que ha sufrido fruto de estos hasta llegar a su estado actual.

En esta fase, y puesto que ya se conocen las generalidades del bien patrimonial, su historia y entorno, nos adentramos en el período de reflexión y proyecto. De aquí, y dado que ya se puede desarrollar un ejercicio de abstracción, que se inicia con una primera etapa de diagnóstico, y que se caracteriza por la síntesis documental recabada en la fase precedente.

Es en este período donde se da una visión general de las virtudes y déficit del bien y donde se individualizan las problemáticas y sus causas. A continuación, y aún dentro de la tercera fase, se reflexiona y se toman decisiones intentando que, en la medida de lo posible, lo propuesto por quien originó/solicitó la realización de actuaciones sobre el patrimonio sea compatible con la realidad del bien, con la inversión económica percibida, con los valores patrimoniales, etc.

En este punto, y bajo una sólida ética profesional, se reafirman los criterios de intervención (qué conservar, cómo hacerlo, hasta dónde...). En último lugar, y bajo el amparo de unos criterios estables se pasa a la última etapa de esta tercera fase, de redacción de proyecto, que será el documento que permitirá concertar, emprender y controlar la intervención.

Al igual que sucedía en la fase de conocimiento, y por nombrar algún ejemplo, el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, en sus protocolos de actuación para proyectos de intervención, recogen en su capítulo 1º de estudio para el diagnóstico y análisis histórico-artístico y científico-técnico<sup>57</sup> a la fotogrametría dentro de su epígrafe inicial con la que recopilar o elaborar toda aquella documentación gráfica necesaria para la documentación y conocimiento del bien patrimonial y

<sup>57</sup> Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico [[http://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/conservacion-y-restauracion/intervenciones/documentos/1138899352706\\_protocolo\\_2.pdf](http://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/conservacion-y-restauracion/intervenciones/documentos/1138899352706_protocolo_2.pdf)].

afirma además que, esta, se empleará con posterioridad para la toma de muestras, representación de alteraciones, medición y propuestas de tratamiento.

Ya dentro de la segunda fase, comenzamos una primera etapa introductoria en la que se genera un diagnóstico, que recogen trabajos de reflexión crítica y síntesis, y que se asientan en las investigaciones pluridisciplinares realizadas en la etapa anterior.

Podemos distinguir, en torno a estas afirmaciones, la fragmentación de esta fase en tres períodos bien diferenciados:

- Uno inicial que contempla la fase de planificación de las labores a llevar a cabo y que permita constituir un grueso de proyecto estable y fiable.
- Uno intermedio donde se define y diseña el proyecto y que engloba tanto el análisis y requisitos de la intervención, el alcance, los objetivos, la identificación de las tareas a desarrollar y, en última instancia, la gestión de riesgos derivados del trabajo.
- Uno final con el que se concluye la fase de estudio y que propicia el comienzo de la ejecución de actividades recogidas por este.

De aquí, y de acuerdo con la definición dada por Russell Archibald<sup>58</sup> (1924), un proyecto es un esfuerzo complejo, comúnmente con una duración inferior a tres años, compuesto por tareas interrelacionadas y ejecutado por diversas organizaciones funcionales que trabajan con un objetivo y bajo un calendario y un presupuesto convenientemente definidos.

Deducimos, por tanto, que un proyecto, al igual que sucedía en la fase anterior, puede implicar a una persona, un solo equipo o múltiples unidades dentro de la organización.

#### **4.2.1. Síntesis documental. Dictamen de diagnóstico**

Puesto que estamos ante un proceso de ordenación y establecimiento de información, es necesario sintetizar la documentación de la que se dispone. Una de las labores incluidas en esta primera etapa sería, por ejemplo, señalar e incrustar

---

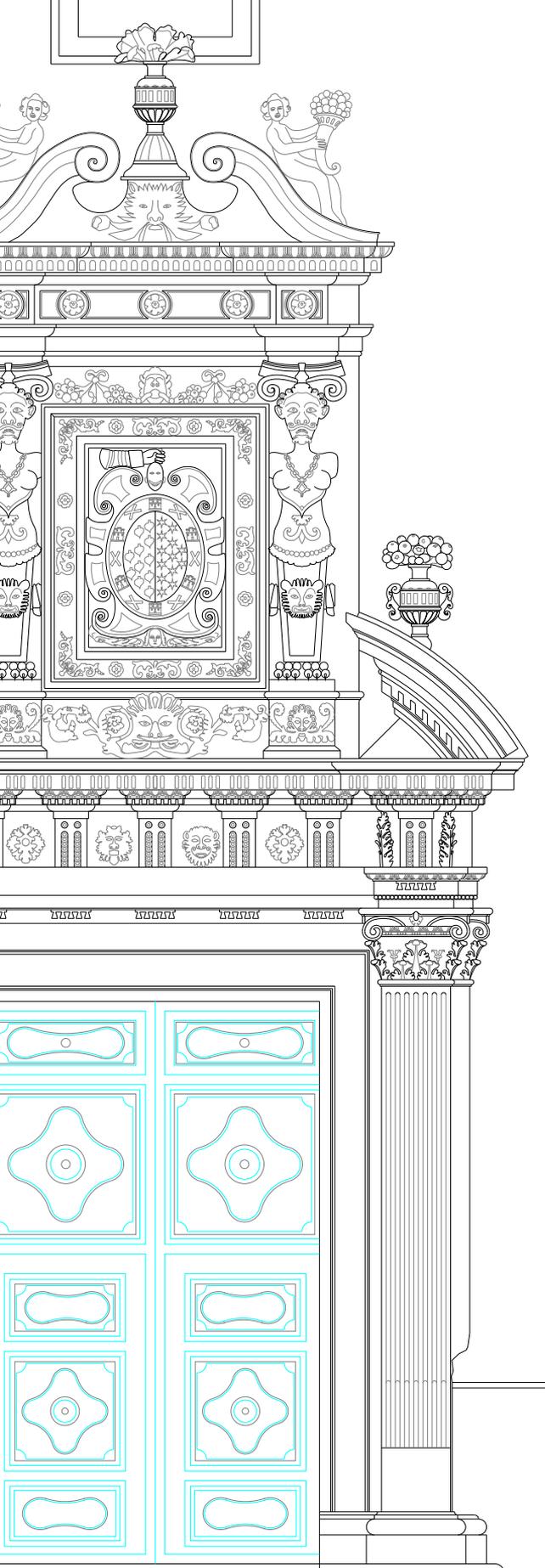
<sup>58</sup> Archibald, R. D. (2003). *Managing high-technology programs and projects*. John Wiley & Sons, pp. 25-26.

gráficamente los estudios sobre el levantamiento geométrico del bien. De esta forma, y con un trabajo sistemático en torno a alzados, secciones y plantas, se podrán forjar grafismos en torno a tres tipologías:

- Mapa de valores. Donde se reseñan, por partes o colectivamente, los valores históricos, artísticos, de color, espaciales, etc (figura 185).



Figura 185. Collage de la evolución arquitectónica y urbanística en torno al patrimonio. Importancia de la documentación gráfica. Antigua casa de los Salazar Rosso. Desde 1992 Museo Arqueológico de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.



- Mapa de déficit. Donde se registren los problemas, degradaciones o lesiones.
- Mapa de usos. Donde se establezcan los empleos históricos o existentes, si los hubiera.

Es ya con esta primera evaluación, en la que el grueso informativo está apoyado en documentación y representaciones gráficas (figura 186), cuando se puede tener una visión global del bien patrimonial y garantizar las hipótesis esbozadas al comienzo de los estudios a través de las inspecciones y ensayos.

Aún confirmada la hipótesis inicial, es posible que surjan nuevas fundadas en la desaparición y/o no confirmación de las iniciales o por presentarse nuevos condicionantes. Dado el caso, se tendrá que volver a la fase de estudio para verificarlas.

Finalizado este tramo preliminar se requiere, de nuevo, precisar por escrito el nivel de conocimiento del bien alcanzado. La redacción del dictamen de diagnóstico se fundamentará, siempre, en la determinación de problemas y sus causas de forma individualizada y desde el criterio de imparcialidad técnica.

Figura 186. Planimetría realizada por calco sobre la fotogrametría digital realizada a la antigua casa de los Salazar Rosso. Desde 1992 Museo Arqueológico de Lorca (Murcia). Fuente: Jerónimo Granados González; fotogrametría: Autor.

Este documento o informe de dictamen debe redactarse con opiniones razonadas y de forma que un técnico externo al trabajo/proceso pueda entenderlo incluyendo, siempre que sea posible, notas aclaratorias para lectores no profesionales.

Entendido el potencial del bien patrimonial existente, es el momento de estudiar las ideas del organismo, entidad o usuario promotor y comprobar si sus requisitos, necesidades, marcos normativos y posibilidades económicas hacen viables las propuestas.

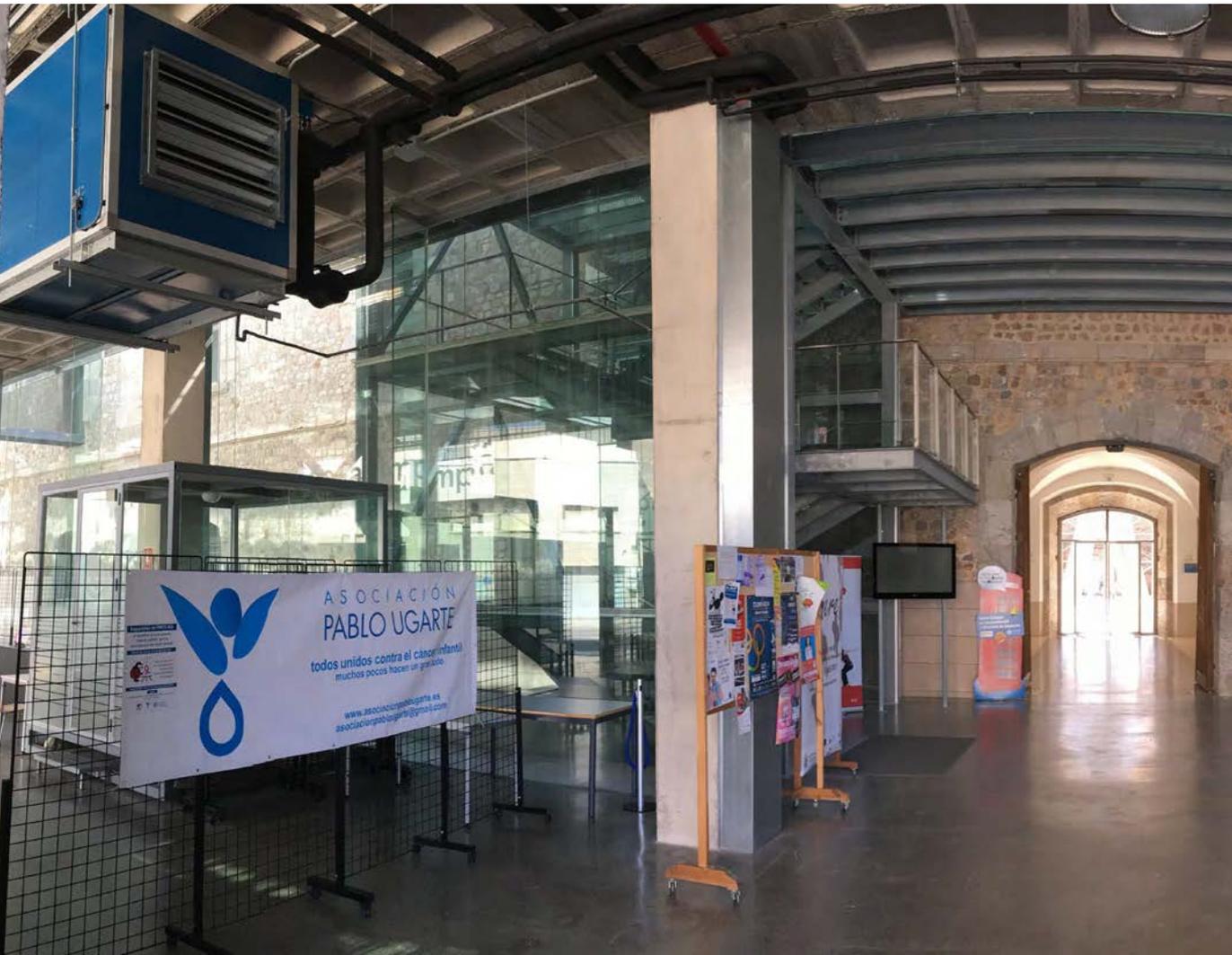


Figura 187 (superior izquierda). Cambio de uso en instalaciones del antiguo Cuartel de Instrucción de Marinería de Cartagena, actual Facultad de Ciencias de la Empresa de la universidad politécnica de Cartagena. Fuente: Autor.

Es aquí donde se debe contemplar como mejor solución aquella que implica la continuidad de uso como la mejor protección pues la propuesta de cambio de uso irracional puede derivar en la pérdida total de los valores tradicionales. Sin embargo, en determinadas ocasiones y ante la necesidad de revitalizar al patrimonio es recurrente el cambio de uso (figuras 187 y 188).

Confirmados los criterios se busca el equilibrio entre salvaguarda y conservación de los valores patrimoniales, seguridad y recursos disponibles y su

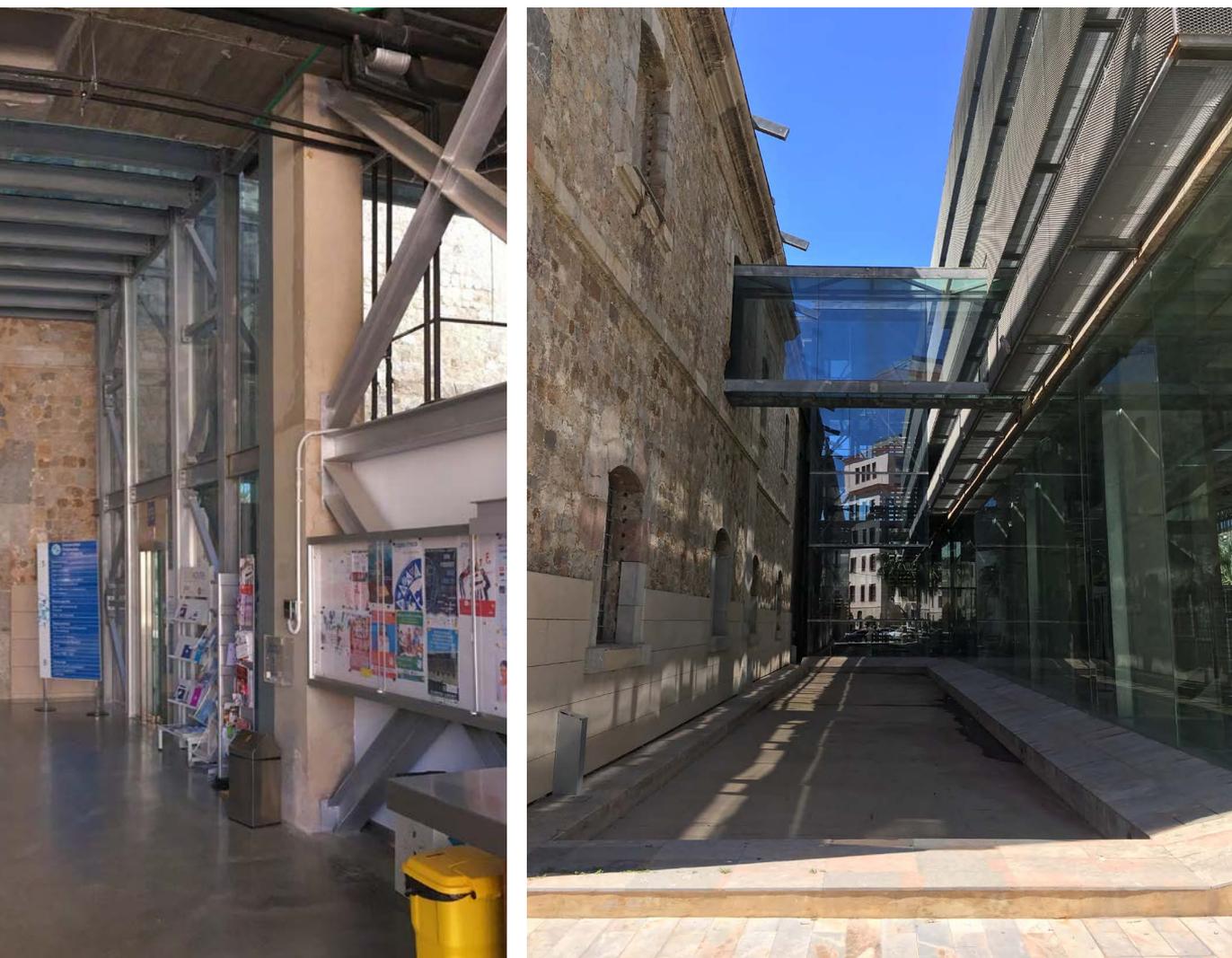


Figura 188 (superior derecha). Lateral y nexos de unión entre módulos. Antiguo Cuartel de Instrucción de Marinería de Cartagena, actual Facultad de Ciencias de la Empresa de la universidad politécnica de Cartagena. Fuente: Autor.

compatibilidad con el tipo de intervención a desarrollar. Estos criterios van desde la conservación máxima hasta la transformación máxima, pudiendo tomar la determinación de actuar y donde, si se escoge la conservación máxima, se puede acometer directamente la fase de Gestión (cuarta y última fase) y formular un procedimiento de mantenimiento y protección preventivo.

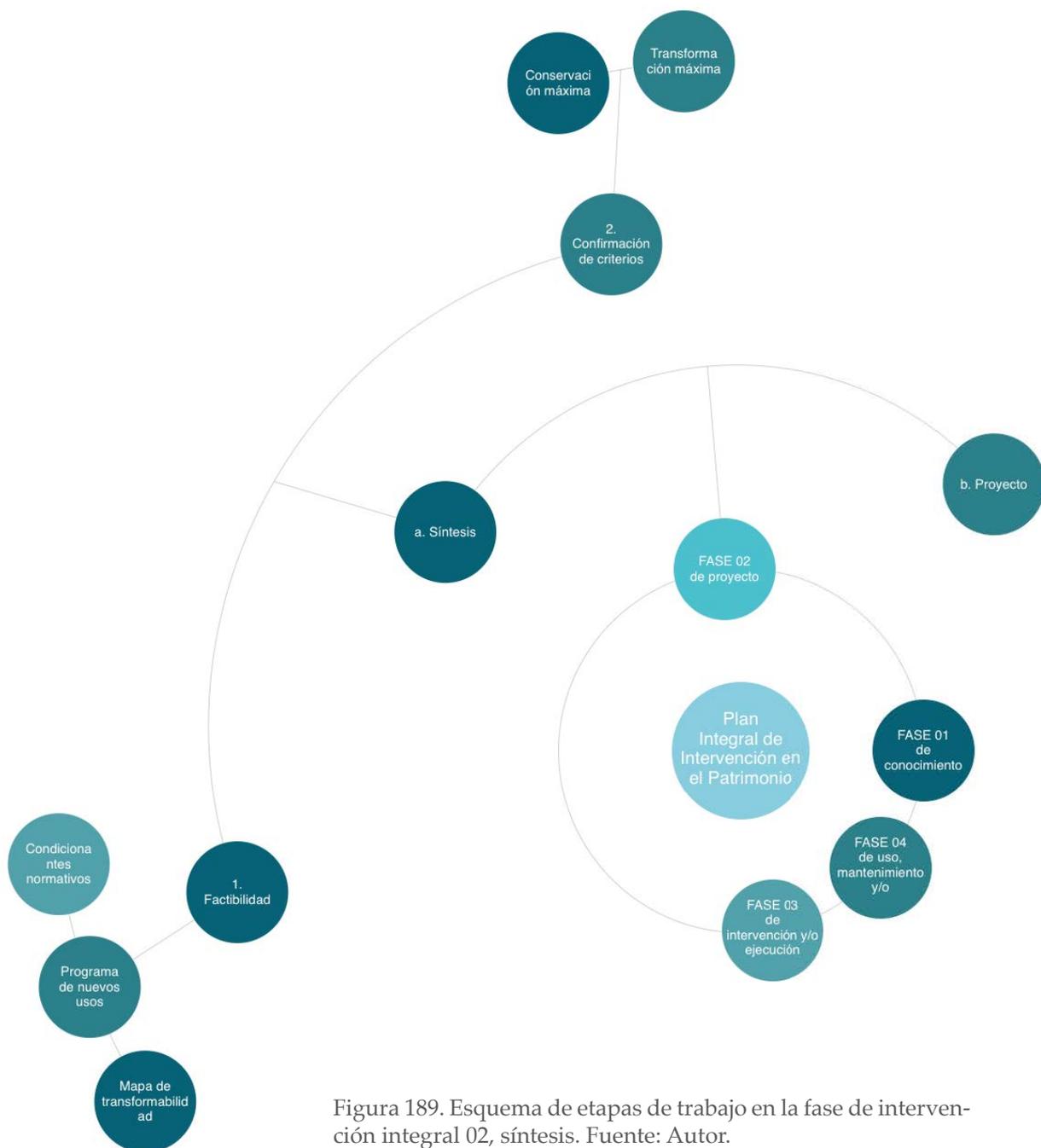


Figura 189. Esquema de etapas de trabajo en la fase de intervención integral 02, síntesis. Fuente: Autor.

Con la siguiente gráfica (figura 189) se esquematizan las partes en que se divide la segunda etapa de la fase de proyecto (02) en torno a la reflexión bajo una intervención integral.

#### 4.2.2. Redacción del proyecto

En la fase de proyecto podemos distinguir dos lapsos de trabajo (figura 190) bien diferenciados:

- Anteproyecto.

Es aquí donde se genera un profundo diálogo con quien promociona la intervención sobre el patrimonio y donde, fruto de estas conversaciones, se evaluarán las posibles alternativas proyectuales en torno al bien patrimonial siempre

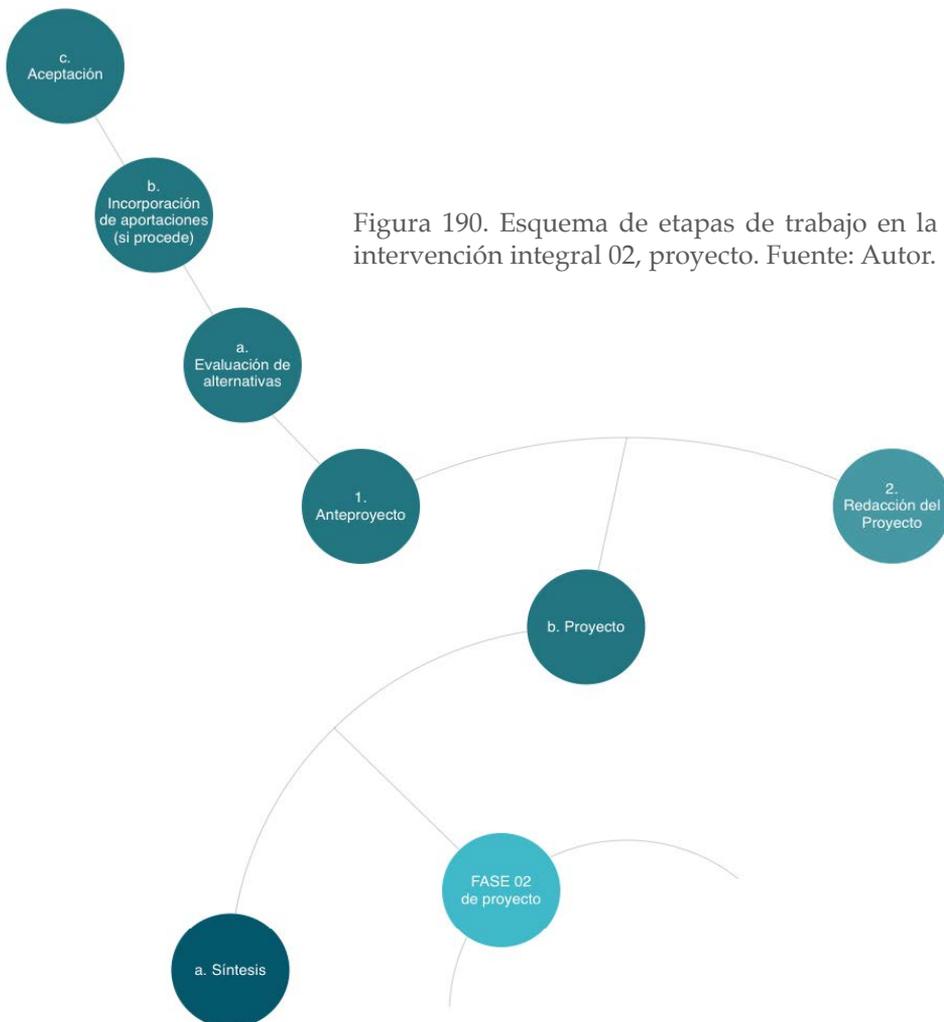


Figura 190. Esquema de etapas de trabajo en la fase de intervención integral 02, proyecto. Fuente: Autor.

respetando y aplicando los criterios determinados en la etapa anterior. Aceptadas éstas, se pueden incorporar al proceso participativo y, consecuentemente, al proyecto final o, directamente, denegarse. Finalmente, alcanzado un acuerdo adecuado a todos los condicionantes, se desarrolla el proyecto.

Dado que la información con la que se trabaja en esta fase proviene de la etapa anterior, podemos afirmar que el aspecto documental de confección y toma de decisiones es fruto del trabajo gráfico, fotográfico, fotogramétrico y topográfico en la mayoría de los casos.

- Proyecto.

En la fase de proyecto se especifica la intervención con el suficiente nivel de definición como para formalizar las gestiones administrativas, contratar la obra y ejecutarla sin que se sufran desviaciones de coste. Así mismo, presenta un nivel de definición como para la correcta interpretación de los criterios de intervención y sus correspondientes parámetros técnicos con los que materializarla.

Figura 191. Empleo de técnicas tradicionales. Ejecución de un muro de tapial. Castillo de Alhama, Murcia. Fuente: Francisco Javier López Martínez.



Es aquí cuando, de acuerdo con la teoría de la restauración (Brandi, 1963), es posible adaptar la actuación en torno a las metodologías tradicionales (figura 191) por lo que es imprescindible conocerlas para poder intervenir conscientemente y donde se estudiará el impacto de estas en su aplicación, su compatibilidad con el bien que aún se conserva y la visibilidad de la intervención una vez ejecutada.

En aquel patrimonio en que se requiera el empleo de modernas instalaciones se deben tomar medidas para que, su integración, sea lo mínimo invasiva y no se desvirtúe su origen (figura 192). Además, siempre que proceda, se deberán incorporar aquellas medidas de sostenibilidad que concurren de forma razonable con la escala de la intervención.

Figura 192. Instalaciones de protección sobre excavación arqueológica. Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.





En paralelo, se estudiará el método para garantizar que cualquier elemento intervenido sea accesible para su posterior mantenimiento de un modo viable y en unas condiciones de seguridad.

Con esto concluimos que, el proyecto, ha de ser detallado pero accesible a posibles modificaciones que puedan surgir (y justificarse) por los hallazgos realizados durante la obra. Además de la documentación de proyecto (Memoria Técnica, Pliego de Condiciones, Mediciones, Medidas de Seguridad y Salud y Presupuesto) incluirá el material gráfico que proceda en torno a estas recomendaciones:

- Planos de situación (figuras 193 y 194).
- Definición geométrica de la propuesta con cotas donde se especifiquen alzados, plantas y secciones (figura 196).
- Planos de estructura (figura 197).
- Planos de detalle (figura 198).
- Planos de acabados (figura 199).
- Planos de instalaciones (figura 200).
- Etc.

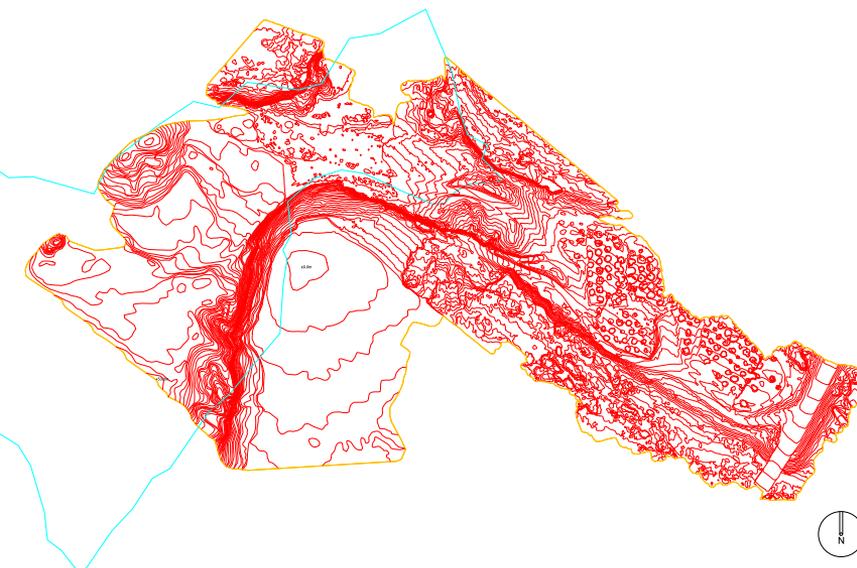


Figura 193 (izquierda). Instalaciones de protección y sostenibilidad sobre excavación arqueológica. Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 194 (superior izquierda). Plano de situación de curvas de nivel para definición actual del entorno a través de la fotogrametría. Fuente: Autor.

Figura 195 (superior derecha). Modelo 3D generado por fotogrametría con el que se genera MDT, Mula (Murcia). Fuente: Autor.

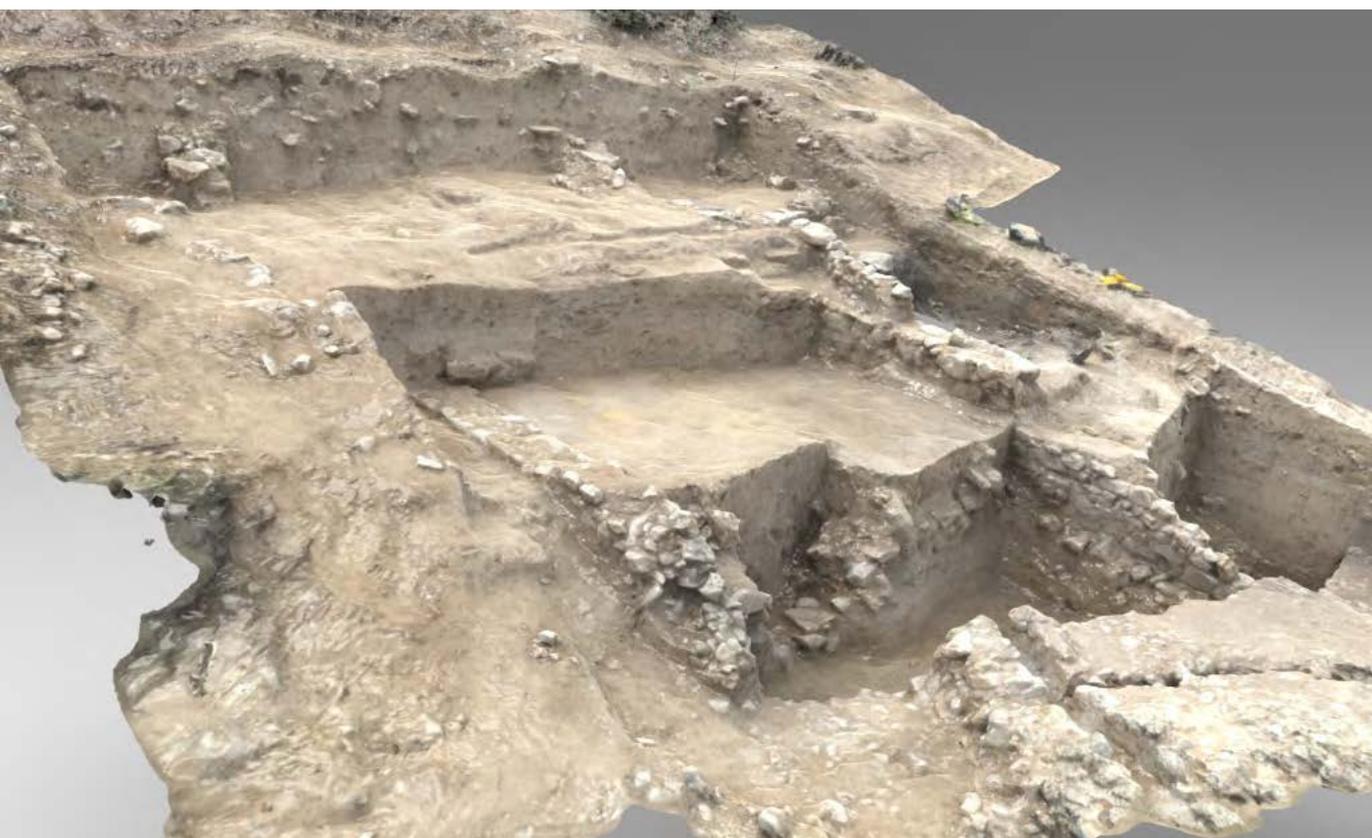


Figura 196 (superior). Sección longitudinal generada con fotogrametría, 1ª fase de excavación yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 197 (inferior). Modelo tridimensional de acabado RGB generado con fotogrametría con representación métrica de particiones, desniveles y valorización estructural de la excavación en el yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 198 (superior). Detalle improntas tapial vivienda 9 en yacimiento arqueológico de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 199 (inferior). Detalle ortofotografía generada con fotogrametría para estudio de materialidad y estratigrafía en segundo cuerpo del alzado noreste del Monasterio de los Jerónimos, Guadalupe (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 200. Detalle con acabado RGB sobre levantamiento fotogramétrico de zona de evacuación (instalaciones) en muralla defensiva de la 1ª fase de excavación yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Es en toda esta etapa donde la fotogrametría aparece como control de calidad y como herramienta con la que redactar el proyecto en base a una información fotográfica extensa y un modelo digital con validez métrica y acabado fotorrealístico que, a su vez, nos permitirá obtener los alzados, las secciones y las plantas demandadas de acuerdo con las recomendaciones antes citadas.

Según el protocolo de actuación 3º para la redacción de la Memoria Final de Intervención del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico<sup>59</sup>, en cada una de los capítulos que componen un proyecto con esta finalidad (estudio histórico-artístico; Diagnósis y tratamiento; Estudio Científico-Técnico y Recomendaciones) se ha de incluir un anexo con documentación gráfica que acompañe a los estudios y datos técnicos, históricos y de trabajo.

Escogido el camino de redacción de proyecto y consolidada su composición, ya sólo podemos comenzar la fase de ejecución e intervención sobre el patrimonio (figura 201).

<sup>59</sup> Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico [[http://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/conservacion-y-restauracion/intervenciones/documentos/1138899380335\\_protocolo\\_3.pdf](http://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/conservacion-y-restauracion/intervenciones/documentos/1138899380335_protocolo_3.pdf)].

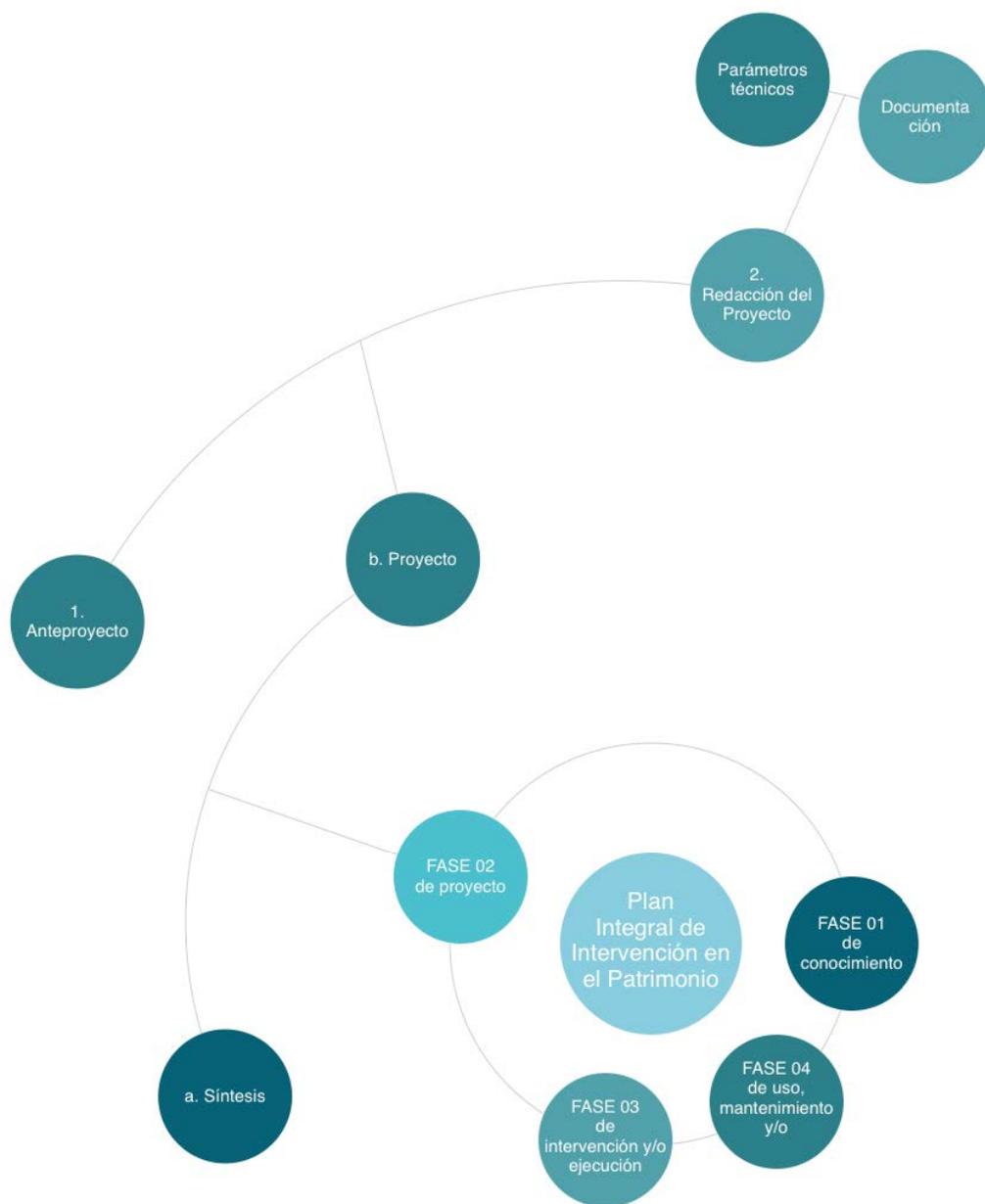


Figura 201. Esquema de etapas de trabajo en la fase de intervención integral 02, proyecto.  
Fuente: Autor.

### 4.2.3. La fotogrametría en la fase de proyecto

En esta fase segunda, y con la intención de demostrar cómo la fotogrametría es un útil a considerar en la redacción de proyecto en general y en cada una de sus etapas en particular, se apoya la justificación en torno a un ejemplo concreto.

El caso práctico se ha elegido pretendiendo que, por sus características diferenciadoras, se pudieran exponer afirmativamente la totalidad de los parámetros contenidos en este capítulo. Concluido el desarrollo práctico de esta fase 02, se pasará a elaborar un análisis crítico del resultado obtenido, que permita evaluar el potencial real de la propuesta. Toda esta documentación se repasará, en forma de conclusiones, en el capítulo final de la tesis generando una revisión contrastada del supuesto ensayado.

Realizada la composición investigadora y de diagnóstico contemplada en la fase 01 y ya en la etapa de redacción de proyecto de la fase 02 para la intervención sobre bienes con la intención de restaurarlos, protegerlos y conservarlos, nos encontramos en un período documental donde, según el Plan Nacional de Patrimonio Industrial Integral en su Inventario de Patrimonio Industrial Español de 2011<sup>59</sup>, un proyecto parte de la necesidad de constituir una base de datos objetiva que registre los bienes del Patrimonio identificando, describiendo y valorando los testimonios registrados y donde, además, según el capítulo 2º, epígrafe 4º y apartados 2, 3 y 4 respectivamente, de objetivos en las fases de actuación, se nos especifica que:

“Dado el proceso de desaparición acelerada de este patrimonio, la toma de datos, como sistema riguroso y científico de documentación, es el punto de partida necesario e imprescindible.”

“La metodología que se propone ha de permitir la apertura de un proceso de recopilación documental activa de carácter abierto y continuado, que se irá incrementando con el paso del tiempo para el mejor conocimiento y conservación de este patrimonio industrial, con la finalidad de mejorar la gestión.”

“Esta propuesta contempla la utilización de la metodología de la arqueología industrial

<sup>59</sup> Plan Nacional de Patrimonio Industrial [[http://ipce.mcu.es/pdfs/PN\\_PATRIMONIO\\_INDUSTRIAL.pdf](http://ipce.mcu.es/pdfs/PN_PATRIMONIO_INDUSTRIAL.pdf)].

con clara vocación interdisciplinar como garantía de una eficaz identificación, comprensión y conservación de los bienes industriales.”

Ante esa necesidad documental, el extenso archivo fotográfico derivado de las labores fotogramétricas y la información gráfica obtenida de su empleo, proporciona mayor fuente documental de cara a la confección del proyecto de intervención que la emanada del trabajo topográfico y arqueológico tradicional.

#### 4.2.3.1. Antecedentes

El Proyecto de Intervención sobre los Panteones Modernistas del Cementerio de San Clemente, que durante la elaboración de la presente tesis aún no ha culminado, es redactado bajo el amparado de los informes técnicos (figura 202) emitidos tras el terremoto ante el encargo del Excmo. Ayuntamiento de Lorca.

Tanto el Informe del Servicio de Patrimonio Histórico de la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales de la Consejería de Cultura y Turismo de la Región de Murcia y la Memoria valorada de las obras de emergencia en los Panteones históricos del Cementerio de San Clemente de Lorca en julio de 2011 originan la necesidad de establecer medidas de intervención sobre estas edificaciones

Figura 202. Esculturas decorativas sobre panteón derruidas por los efectos del terremoto. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Jerónimo Granados González.



declaradas bienes de interés cultural de grado 1 bajo el Catálogo de Patrimonio Histórico de Murcia.

Es importante reseñar que estas labores vienen, en parte, condicionadas por las subvenciones Estatales, Regionales y Municipales así como por aquellos donativos emanados por entidades u organismos de ámbito público y privado entre los que se puede destacar la Dirección General de Bienes Culturales de la CARM, como organismo competente en la protección del patrimonio cultural en la Región de Murcia, el propio Ayuntamiento de Lorca, el Obispado de Cartagena, el Ministerio de Cultura, la Concejalía de Gestión de Recuperación tras el Terremoto y la coordinación en las actuaciones de emergencia coordinadas por el Centro Regional de Restauración y el Servicio de Museos y Exposiciones de la Dirección General de Bienes Culturales.

#### 4.2.3.2. Contexto geográfico-histórico

Nuestro objeto de estudio son los panteones de la Calle de San Clemente (que delimita la parte inferior del recinto) que se encuentran en el interior del cementerio que recibe el mismo nombre y que, concretamente, se ubica en las inmediaciones de la carretera de Granada (o carretera de Puerto Lumbreras) discurriendo a través de la N-340a (figura 203). Separado del Casco Histórico de la ciudad de Lorca (declarado también como conjunto histórico-artístico en marzo de 1964) por 4,3 km. y dentro de la considerada comarca del Alto Guadalentín.

El cementerio, proyectado en 1896, fue inaugurado en 1900 y presenta un diseño atribuido al arquitecto José Antonio Rodríguez (1868-1938), adjunto de Justo Millán (1843-1928) por aquellas fechas.

Fue construido (figura 204) como nuevo cementerio a finales del siglo XIX ante la necesidad de remediar los problemas de enterramiento del camposanto situado en el barrio de San José, considerado principal cementerio de Lorca. El nuevo recinto, emplazado en la diputación de La Torrecilla, posee un trazado de calles en damero que resuelve parcelas de diferentes proporciones. La capilla principal, ubicada en el centro del recinto, y cuya perpendicular trazaba la calle que constituía el eje de acceso, esbozada una ligera pendiente que favorecía la perspectiva visual.

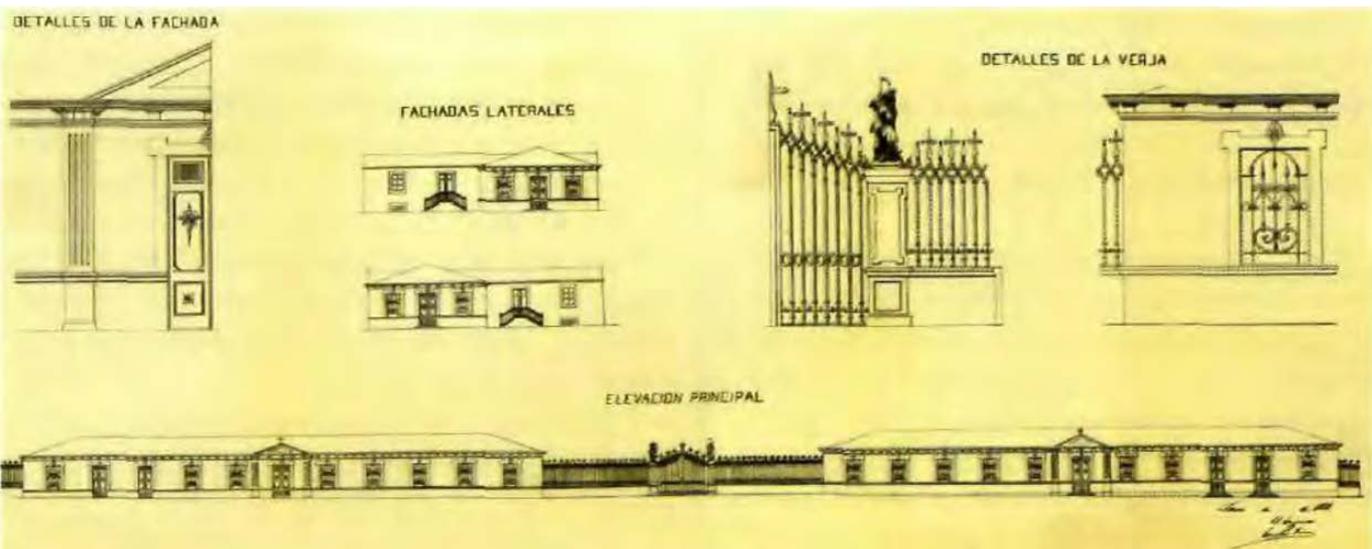
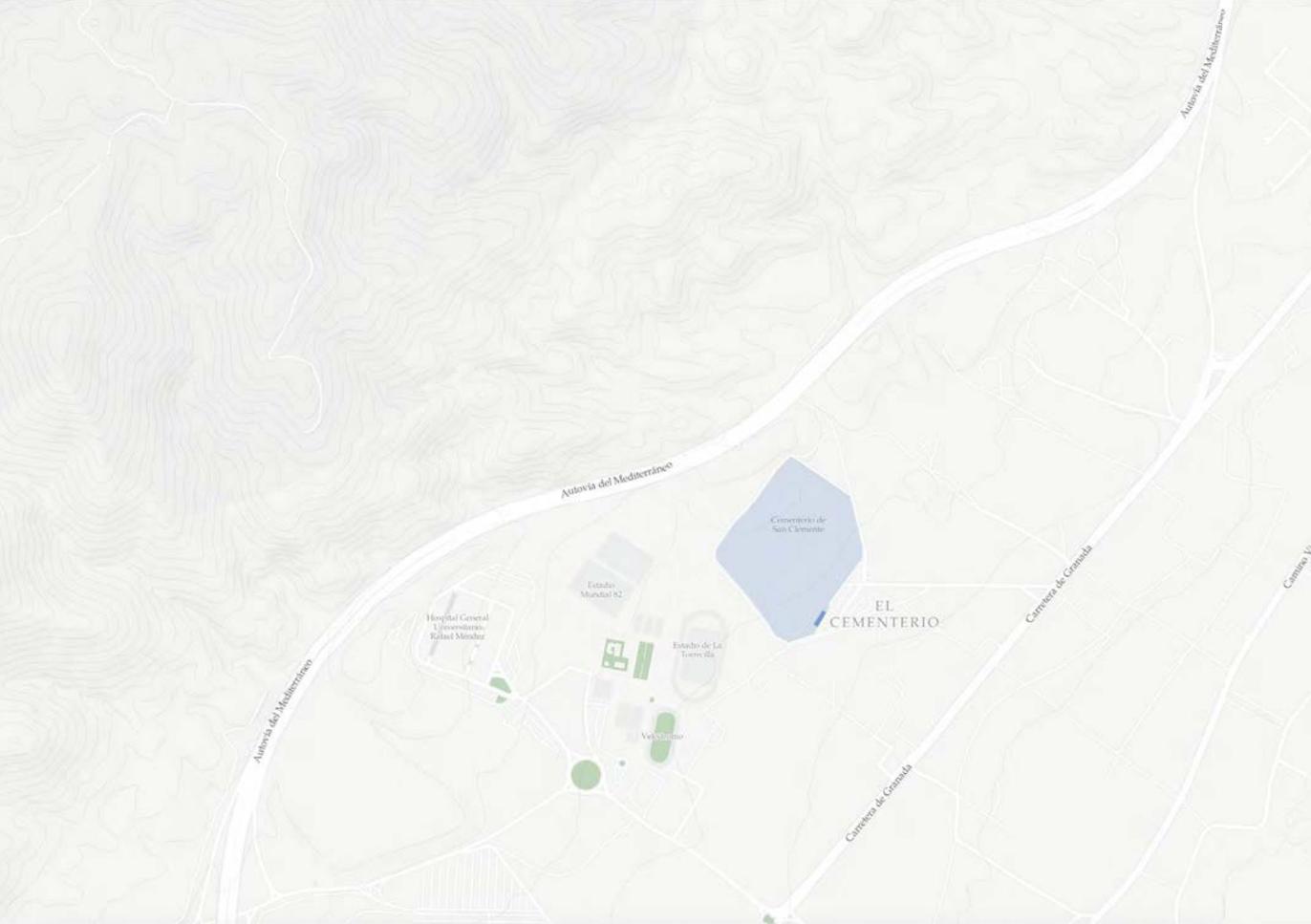


Figura 203 (superior). Ubicación de la zona de intervención. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 204 (inferior). Detalles de fachada, fachadas laterales, de verja y elevación de la fachada principal de proyecto original. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Ingeniero Riera, 1888.

El cementerio actual conserva fundamentalmente la misma fisonomía y distribución del proyecto primitivo excepto por las ampliaciones realizadas posteriormente tanto en la parte posterior del recinto como discurriendo por el lateral derecho del mismo.

Los cuerpos arquitectónicos que nos ocupan datan del primer cuarto del siglo XX. Constituyen un conjunto homogéneo e inherente que simboliza la mejor arquitectura ecléctica de Lorca. Los panteones destapan toda una serie de elementos eclécticos e historicistas que, junto a detalles, referencias y formas modernistas, y en torno a otros panteones y capillas, configuran una distribución ortogonal de calles. A partir del arco de acceso al cementerio se dispone la calle principal de Santa María que conduce a la capilla que, inicialmente, ocupaba una posición centrada dentro de estas instalaciones.

El conjunto patrimonial objeto del proyecto son los panteones-capilla de pequeñas dimensiones (figura 205) y que principalmente destacan por la clara combinación de corrientes arquitectónicas propias de la arquitectura funeraria que, a través de la yuxtaposición de formas clásicas con motivos ornamentales y detalles decorativos tomados de otros estilos como el bizantino, egipcio, mudéjar o medieval.

El grupo de panteones que nos atañe, situado en la Calle de San Clemente, está representado por los pertenecientes a las familias de M. del Suceso Delgado y de José María Campoy Gómez, ambos datados en 1912, la familia Casalduero (1914) u otros ejemplos, algo más tardíos, como son el panteón de José Pallarés Arcas también de 1914. En particular, el panteón de Casalduero muestra de forma más evidente las características del neogótico, mientras que los de Suceso Delgado, Pallarés Arcas y Campoy Gómez remiten a una arquitectura que emplea las mismas formas, motivos decorativos y recursos compositivos dando como resultado piezas arquitectónicas similares y asociadas al arquitecto Pedro Cerdán (1863-1947) dados por la mezcla de motivos modernistas con otros más clásicos.

Figura 205 (derecha). Interior del panteón de Ezequiel García, 1911, objeto de proyecto y levantado con fotogrametría. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.



#### 4.2.3.3. Elección, justificación y planteamiento del caso

La elección, en forma de caso práctico, que se muestra en este apartado se realizó tras haber estimado diversas alternativas arquitectónicas y arqueológicas y donde, en última instancia se escogieron un módulo de Panteones Modernistas del Cementerio de San Clemente de Lorca, en Murcia. Esta actuación es consecuencia de las labores de catalogación que se realizaron en la zona, de 2011 a 2015, y que continúan en la actualidad, en torno a la redacción de la memoria valorada de obras de emergencia en los Panteones Históricos del Cementerio de San Clemente de Lorca a causa de los seísmos del 11 de mayo de 2011.

Las labores de redacción de proyecto vienen derivadas por la necesidad de protección (figura 206) de estos bienes de interés cultural según el Catálogo de Patrimonio Histórico de Murcia cuyo titular último es el obispado y que presentan un uso religioso según se establece en los Informes Técnicos emitidos tras el terremoto.

En este informe previo (figura 207), que estudia el estado de los panteones tras el sismo de Lorca a 11 de julio de 2011 y que es emitido por el Servicio de Patrimonio Histórico de la Dirección General de Bellas Artes y Bienes Culturales de la Conserjería de Cultura y Turismo de la Región de Murcia, se expone que estas edificaciones han sufrido desprendimientos y caídas tanto de elementos arquitectónicos como de motivos decorativos, que parte de los elementos escultóricos están dañados o, directamente, destruidos y explican la necesidad de actuación inmediata en aquellas zonas en las que las grietas generalizadas o las fracturaciones completas puedan derivar en el colapso de las estructuras murarias de estos.

Ante la necesidad urgente de actuación por los acontecimientos sobrevenidos en la zona, es vital recurrir a metodologías de medición que puedan llevarse a cabo sin mantener contacto





**Obras imprescindibles para garantizar la protección de los Panteones Históricos del Cementerio de San Clemente de Lorca frente a fenómenos meteorológicos susceptibles de agravar el deterioro causado por los terremotos del 11 de mayo de 2011**

**Memoria Valorada**

Figura 206 (izquierda). Detalle de desprendimientos en panteón de Antonio García de Alcaraz. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Jerónimo Granados González.

Figura 207 (superior derecha). Portada de la Memoria Valorada para garantizar la protección de los Panteones Históricos del Cementerio de San Clemente de Lorca. Fuente: Jerónimo Granados González.

directo con los bienes (sobre todo por el peligro que esto conlleva), que puedan ser realizadas de forma inmediata en el tiempo y que, además de permitirnos elaborar estimaciones económicas de las obras de emergencia, sirvan también para:

- Documentar los bienes patrimoniales antes de su posible rotura o desprendimiento integral (figura 208).
- Identificar los daños acaecidos en los edificios y su entorno más inmediato facilitando la medición de grietas y desperfectos lineal, superficial y



Figura 208. Detalle de daños y situación de sillares en peligro de derrumbe en panteón de Adela Cachá Arcoya, 1919. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Jerónimo Granados González.

volumétricamente.

- Servir de punto de partida a una documentación gráfica extensa que pueda ser útil en fases posteriores de intervención.
- Ayudar a la catalogación virtual de bienes patrimoniales.

En torno a todas estas necesidades, y tal y como demostramos a lo largo de este capítulo, la fotogrametría se presenta como la herramienta más apropiada

pues da respuesta a todas ellas y nos provee de documentación fotográfica y gráfica métricamente útil antes, durante y después de la redacción del proyecto.

Al tratarse de un supuesto práctico con gran variedad de singularidades y ornamentaciones expuestas a la intemperie, subrayamos algunas de las razones que hicieron considerar este ejemplo como adecuado:

- Permite adentrarnos en las labores de conservación de un bien declarado Patrimonio Mundial.
- Se trata de un caso que demuestra la importancia conservadora de cuerpos arquitectónicos en entornos distintivos.
- Surge de un proyecto requerido ante la necesidad sobrevenida de actuación tras sismo y en base a las fichas de registro de los informes técnicos emitidos tras el terremoto por el Ayuntamiento de Lorca.
- Demuestra la evolución documental e investigadora realizada en anteproyecto y proyecto.
- Por último, se desarrolla en un contexto multidisciplinar (pues aparecen profesionales y expertos de la arquitectura y de la topografía).



La etapa de trabajo contemplada sobre los panteones históricos del cementerio de San Clemente de Lorca y que, en conjunto, se encuentran inscritos en el Catálogo del Patrimonio Cultural de la Región de Murcia con grado de protección 1 explora las particularidades de documentación fotogramétrica relacionadas con las fases de intervención integral del patrimonio.

La elección de esta arquitectura funeraria es emprendida por varias razones:

- La primera, la posibilidad de intervenir en un contexto sobrevenido por una catástrofe natural y sobre una arquitectura que, aunque a veces pasada por alto, forma parte viva del patrimonio cultural de nuestro país.
- Y, la segunda, la necesaria revisión, análisis y documentación de arquitecturas, a veces olvidadas, indiferentes, abandonadas y/o alejadas del interés social general y más bien propio de siglos anteriores, acercando a la reflexión sobre el futuro de estas construcciones de muerte y memoria.

La decisión de acompañar a la redacción del proyecto con la fotogrametría como herramienta documental reside, fundamentalmente y entre otras, en:

- Constituye una forma de conservación y difusión permitida por la legislación y muy próxima a las tendencias actuales de tratamiento de la información.
- Al tratarse de un elemento patrimonial afectado por un estado de ruina progresiva a corto o medio plazo, derivada del movimiento sísmico, se hace preciso actuar con técnicas documentales de gran facultad de percepción y grafismo que con la metodología tradicional no quedarían contempladas, facilitando información valiosa del estado actual y sirviendo de reflejo de una posible realidad desaparecida.
- Conforman un sistema documental fácilmente almacenable, tratable y difundible.
- La documentación generada es susceptible de ser financiada mediante fuentes externas como convocatorias del Ministerio de Cultura u de otras entidades.
- Representa una herramienta capaz de facultarnos a estudiar las etapas de actuación, sus consecuencias y posible evolución en la fase de intervención/ejecución posterior.
- Establece una representación clara, precisa y útil para cada uno de los

epígrafes mínimos contenidos en un proyecto de obra y, con ello, en la fase 03 en la que nos encontramos.

Consecuentemente, las necesidades concretas de esta fase son la documentación gráfica integral en fase de redacción de proyecto en torno a un conjunto de Panteones Modernistas del Cementerio de San Clemente de Lorca con la intención de conocer en detalle sus materiales, la localización de desperfectos fruto del sismo sufrido y sus necesidades previo a la intervención sobre la zona.

Las labores fotogramétricas desarrolladas en torno a este bien, dando respuesta a las indicaciones recogidas en los apartados anteriores de este capítulo, han sido:

- Trabajo de campo. Toma de datos y reportaje fotográfico.
- Trabajo de gabinete. Levantamiento fotogramétrico y obtención del modelo.
- Obtención de ortofotografías (alzado general, sección y planta).

Así mismo, el método empleado ha sido:

- Structure from motion (SFM).

El instrumental:

- Cinta métrica (Stanley powerlock).
- Distanciómetro láser de mano Leica DISTO Classic 5a.
- Cámara Sony Nex-5 con objetivo 18-55 mm.
- RPA del fabricante DJI modelo Phantom 3 profesional con cámara incorporada de 35 mm.

El hardware y software:

- Ordenador portátil Sony Vaio Fit Multi-flip.
- PhotoScan Profesional 1.2.5.
- AutoCAD 2015.

#### 4.2.3.4. Ejecución de la propuesta. Puesta en práctica de las etapas de trabajo fotogramétrico

Dado que, como hemos explicado con anterioridad, el patrimonio sobre el que actuamos, así como otras arquitecturas del entorno como la del lienzo de muralla en el Castillo de Lorca, la Torre del Espolón, la Iglesia de San Mateo, la cabecera de la Iglesia de Santiago o el Convento de las Clarisas, sufrió importantes daños (en nuestro caso sobre la arquitectura funeraria) y donde se observan, entre otras

cosas, traslados de bloques de sillería con desplazamientos de hasta 5 cm., caídas de elementos decorativos o pináculos, grietas e, incluso, pérdida de la capacidad estructural.

Es, principalmente, la necesidad de intervención segura la que implica en sobremanera a la fotogrametría digital en un levantamiento gráfico sobre estos bienes y que, tal y como se indica en el capítulo 3, se extiende en torno a dos etapas claramente diferenciadas y que, a su vez, están profundamente relacionadas: El trabajo de campo y el trabajo de gabinete.

Estas dos partes de la técnica, y ante un caso práctico en el que se pretende documentar una arquitectura en riesgo en fase de proyecto, se determina que las labores de catalogación y representación general se van a desglosar alrededor de los principales capítulos recogidos en un proyecto de intervención sobre el patrimonio.

#### a. Trabajo de campo

En esta etapa donde se realizan las fotografías del patrimonio arquitectónico objeto de proyecto y su entorno más cercano y donde reuniremos la toma de medidas necesarias para el posterior escalado del modelo generado.

Previo al comienzo de estas labores se establece una estrategia (figura 209) para la correcta toma fotográfica de acuerdo con las necesidades concretas de nuestro proyecto y a aquella documentación que, posteriormente, pudiera sernos útil para la fase de intervención u obra.

Con el desarrollo y dado que los informes de daños derivados de la intervención técnica inicial indican que el terremoto ha podido dañar tanto estructura como ornamentación, por seguridad y conocimiento, se establece una estrategia de labores de campo que se divide en dos porciones:

- Fotogrametría aérea. Para levantamiento, conocimiento en materia de seguridad y documentación de cubierta y volumen general de los panteones afectados.
- Fotogrametría terrestre. Para levantamiento y documentación de detalles y paños de fachada más definidos.

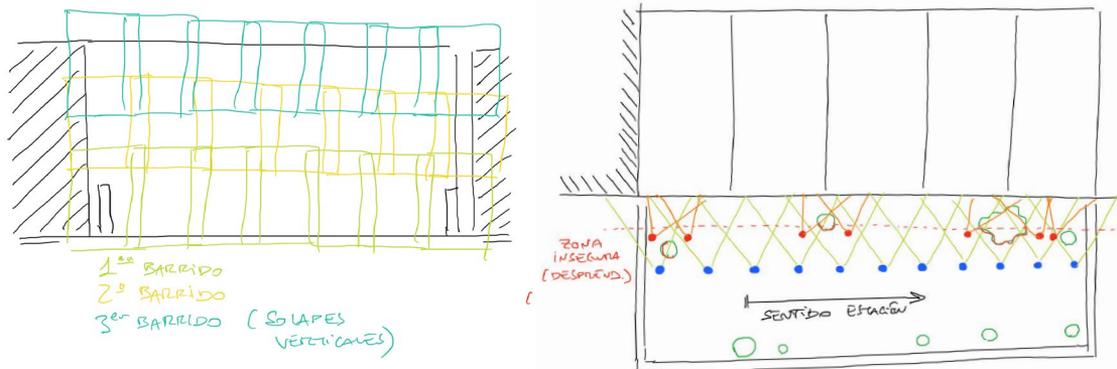


Figura 209. Representación croquizada del itinerario de trabajo. Barridos y solapes. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Además, y dado que necesitamos de referencias métricas para que el software fotogramétrico nos dé información dimensional y poder así escalar y orientar el modelo, se recurre a instrumentación topográfica de medición directa e indirecta de distancias entre puntos bien definidos del conjunto. Para ello se emplea, por un lado, un flexómetro de mano que nos permita conocer medidas de profundidad y altura con las que poder comprobar la idoneidad del modelo escalado y a un distanciómetro láser para tomar un valor longitudinal, a ser posible la de mayor largo posible, que nos sirva de distancia de referencia al escalado.

Con todo esto, y según la descripción metodológica de investigación propuesta en la etapa 02 del apartado 3.2. de esta tesis, la correcta actuación para el desarrollo de una buen proyecto fotográfico en campo es:

- Estudio del lugar. Se hace una inspección visual alrededor de los panteones objeto de proyecto teniendo en cuenta, dado el carácter particular del ejemplo propuesto, que nos encontramos en un entorno peligroso y con probabilidades de deslizamiento o derrumbes puntuales o integrales. Es recomendable (y la opción más segura) el empleo de distancias de seguridad amplias respecto al patrimonio objeto del proyecto. Se contempla también la iluminación, que en todo caso es natural; que no existe tráfico peatonal o rodado cercano y que los obstáculos como vegetación (figura 210 y 211) no es posible eliminarlos o desplazarlos de cara a la correcta toma fotográfica.
- Documentación de apoyo. Delinear un croquis general que represente la orientación y las cotas principales. Así mismo, realizar una toma fotográfi-



Figura 210 (superior). Detalle perspectiva a nivel de suelo de zonas afectadas por vegetación cercana. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 211 (izquierda), figura 212 (central) y figura 213 (derecha). Alzados norte y sur afectados por vegetación cercana y sombras acusadas. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

ca, no con intención fotogramétrica, pero que simplificará la percepción del entorno, vegetación, mobiliario y cercados con respecto a los panteones.

- Puesta a punto del equipo fotográfico y toma de datos tanto del modelo de cámara empleado como de las especificaciones en ella determinadas en el momento de la captura (objetivo, formato de imagen, etc.).

- Elaboración de proyecto de estacionamiento y captura fotográfica. Determinar la mejor relación de distancias guardando una adecuada relación calidad/seguridad/solape entre los puntos de captura. En este caso se comienza en el lateral izquierdo del paño a representar y se va desarrollando la toma fotográfica hacia la derecha atendiendo a que no queden zonas sombreadas a las que se hizo referencia en el apartado 3.2.4.

- Comprobar todo el trabajo realizado antes de abandonar el lugar.

En este proceso, y ante las necesidades documentales de proyecto, el trabajo de campo se divide en períodos:



### a.1. Fotogrametría aérea.

En este caso la toma de fotografías se realiza con un dron o vehículo aéreo no tripulado (UAV) del fabricante Chino DJI cuyo modelo y especificaciones exactas quedan recogidas en el apartado 3.1.1.1. epígrafe "b" de esta tesis doctoral.

La fotogrametría aérea se realiza con la cámara incorporada en este dron y que cuenta con sensor 1/2.3" CMOS, con 12,4 píxeles efectivos con un campo de visión equivalente a 35 mm, f/2.8 y velocidad del obturador de 8s - 1/8000s. Además, el Phantom, dispone de un control remoto permitiendo vídeo HD en tiempo real y un rango de alcance de hasta 5 kilómetros y permite, al contar con una salida posterior USB (figura 214) el empleo de teléfonos o tabletas de diferentes marcas (en nuestro caso empleamos un iPad Pro de 9,7").

Las posibilidades de vuelo en torno al cementerio (figura 215) están otorgadas por contar el operador de dron, autor de la presente tesis, con el curso de pilotaje de aeronaves dirigidas por control remoto tanto de nivel básico como avanzado en un Centro de Estudios verificado y acreditado por Agencia Estatal de Seguridad Aérea<sup>60</sup> (figuras 216 y 217).

El número, altura, y tiempos de vuelos (considerando que la autonomía media de cada batería del Phantom 3 es de 20-25 minutos de vuelo), así como la cantidad de fotografías queda desglosado en la siguiente tabla:

<sup>60</sup> AESA [[http://www.seguridadaerea.gob.es/lang\\_castellano/home.aspx](http://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/home.aspx)].

Figura 214. Collage con detalle de instrumental y salidas del control remoto del dron de DJI Phantom. Fuente: Autor.



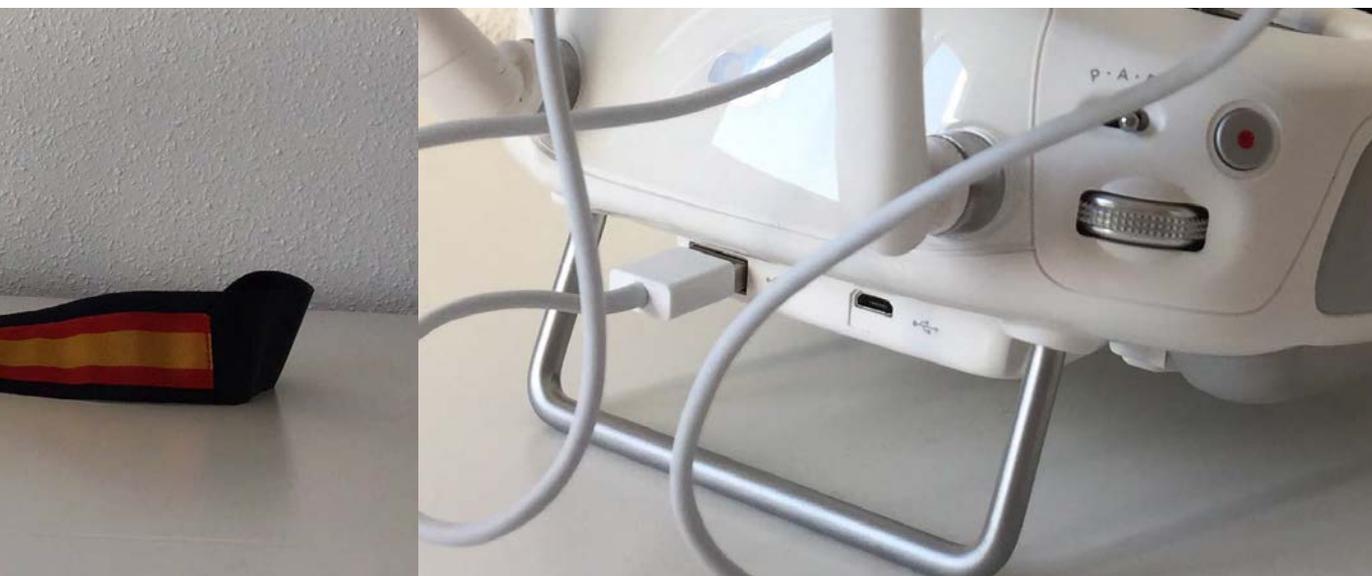
	Nº de fotografías	Tiempos	Altura de vuelo (respecto despegue)	Baterías empleadas
Planta	46	8 minutos	20 metros	1

Tabla 016. Tabla resumen fases de vuelo, número de fotografías, tiempo, altura máxima alcanzada y baterías consumidas durante el trabajo fotogramétrico. Fuente: Autor.

El vuelo, con un recorrido de 220 metros totales, y con el que se consigue la documentación gráfica necesaria para la representación de cubierta y alzados generales del proyecto se realiza de forma manual y sin previa georreferenciación a través de puntos estables en terreno. Antes del vuelo se calibra el drone para asegurar la adecuada captación de señal GPS e, inmediatamente después, se despega hasta alcanzar una altura de vuelo fija con respecto al punto de origen de 20 metros. La precisión del vuelo planificado queda especificado según la tabla 017.

Solape entre fotografías	80% frontal y 70% lateral
Distancia entre fotografías	4 metros
Resolución espacial <sup>61</sup>	1,2 cm / pixel

<sup>61</sup> La resolución espacial hace referencia al tamaño físico que un píxel de la imagen representa en el terreno. A mayor cantidad de píxeles por área, mayor resolución geométrica de la imagen, pues el píxel representa una menor superficie del objeto. Suele medirse en GSD o Ground Sampling Distance.



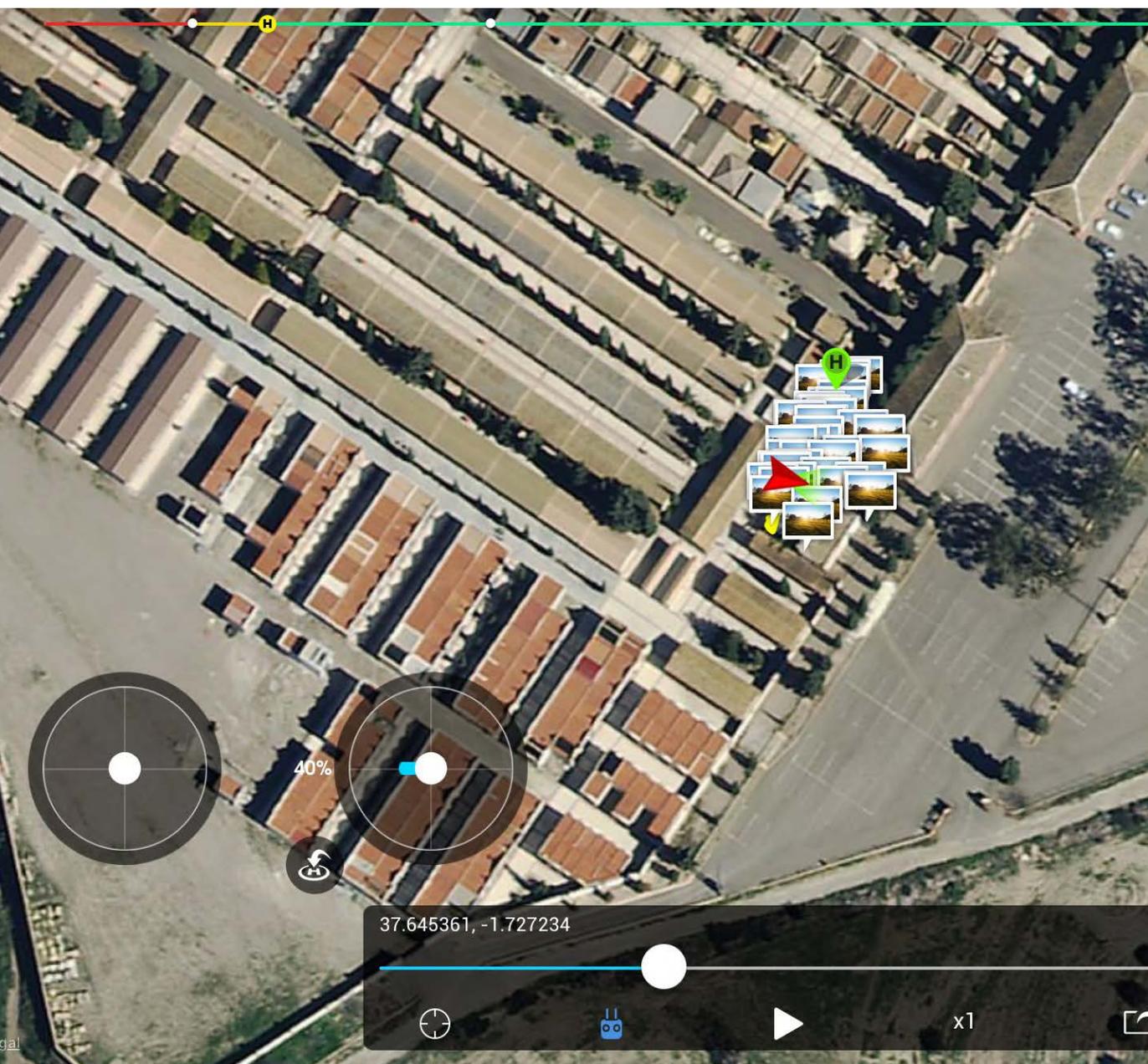
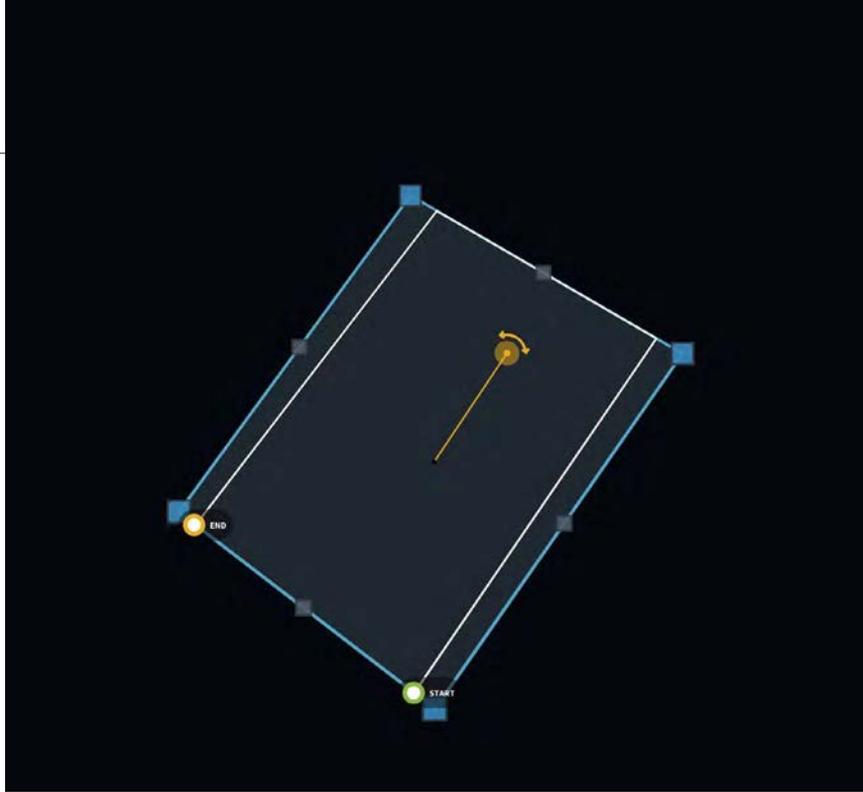


Figura 215 (superior). Reconstrucción de la fase de vuelo vista en gabinete. Se nos permite visualizar la ruta de vuelo y comprobar las coordenadas en cada momento del recorrido realizado, la posición de los joystick, la localización exacta desde donde se realizaron las capturas fotográficas. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 216 (superior derecha). Itinerario de vuelo fotogramétrico en las labores de documentación aérea de los panteones. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 217 (inferior derecha). Posición inicial y final del itinerario de vuelo fotogramétrico. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

17:25



Distancia entre calles del plan de vuelo	Aproximadamente 9 metros
Altura de vuelo (respecto punto de partida)	20 metros

Tabla 017. Datos de vuelo. Planificación del trabajo de levantamiento por fotogrametría aérea. Fuente: Autor.

Las condiciones meteorológicas se estudiaron con anterioridad a la visita al cementerio evitando así que la velocidad del viento fuera superior a 6 m/seg. El vuelo se realizó en unas condiciones meteorológicas óptimas.

El alcanzar un modelo tridimensional con el trabajo aéreo conlleva las mismas operaciones de trabajo en gabinete que las especificadas en el apartado 3.3. de esta tesis por lo que, un mismo pixel, ha de presentarse en dos o tres imágenes para conseguir estimar su ubicación espacial. Determinada la altura (20 metros) y velocidad (estable de 1.5 m/seg.) de vuelo conseguimos una adecuada resolución espacial para el medio arquitectónico, evitando la trepidación y asegurando es el adecuado.

#### a.2. Fotogrametría terrestre.

Para este caso concreto el trabajo terrestre se realiza con la intención final de conseguir una documentación gráfica y métrica en detalle (figura 218) de algunas zonas del alzado general o de sus elementos decorativos u ornamentales.

Estas referencias, en el peor de los casos (derrumbe o agrietamiento), nos permiten tener una referencia morfológica fidedigna con la que, por ejemplo, dotar al artesano/escultor/técnico impresora 3D de un modelo tridimensional previo a la desaparición total con el que poder conseguir un repuesto exacto al desaparecido pudiendo referenciarlo en proyecto.

La toma de fotografías se realiza con la cámara ya reseñada en el apartado 3.1.1.1 y empleada en toda la investigación, concretamente la Sony Nex-5 CMOS APS-C de 14 Megapíxeles en ISO 200, usando el enfoque automático y el objetivo con distancia focal fija a 18 mm.

La documentación fotogramétrica derivada de este trabajo terrestre presenta



Figura 218 (izquierda). Fotografía in situ de detalle ornamental. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 219 (centro). Modelo tridimensional en escala de colores RGB generado con fotogrametría. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 220 (derecha). Alzado con valor métrico de acabado fotorrealístico usando la fotogrametría. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

un carácter de archivo integral (figura 219 y 220) con el que se obtienen representaciones gráficas cuidadas, precisas y útiles para la elaboración de anteproyecto y proyecto.

El número capturas y tiempos de trabajo empleados para las tomas fotográficas queda desglosado de la siguiente forma:

Etapa	Nº de fotografías	Tiempos
Volumen general	191	69 minutos 12 segundos

Detalle cornisa / ornamentación	65	17 minutos 42 segundos
Detalle zócalo	36	21 minutos 29 segundos

Tabla 018. Tabla resumen por zonas de trabajo con sus respectivos rendimientos fotográficos y temporales. Información detallada obtenida de la libreta de campo y contrastada con los metadatos de las imágenes. Fuente: Autor.

La posibilidad de desplazamiento a pie por las inmediaciones de los panteones simplifica la captura fotográfica y permite, guardando las distancias de seguridad por peligro de derrumbe, documentar sin mayor problema aquellas partes o peculiaridades de interés sin necesidad de recurrir a plataformas elevadoras.

Para el alzado general del conjunto de panteones el recorrido, de izquierda a derecha del alzado y con la cámara sobre un trípode de rótula, se efectúa con estaciones equidistantes cada 0,8 metros y una distancia entre lugar de captura y objeto a documentar de 4 metros con lo que, siguiendo lo estipulado como ordenación óptima del apartado 3.2.4. de esta misma tesis, guardamos una relación adecuada de distancias del 20%. Además, y ante la necesidad de cabeceo de de la cámara para contemplar, en altura, todo el paño, se realizan dos barridos con un solape de aproximadamente el 60%.

De otro lado, y para los casos en los que se realiza el levantamiento de los detalles constructivos se sigue la misma metodología pero haciendo hincapié en documentar correctamente los rehundidos propios de dinteles, alféizares jambas de los huecos de fachada, así como aquellos elementos ornamentales de interés. Este refuerzo fotográfico es conseguido haciendo batidas fotográficas concéntricas y, en todo caso, equidistantes al bien patrimonial (figura 221).

#### b. Trabajo de gabinete

Dentro de esta etapa, empleando la documentación fotográfica recopilada en campo y a través del software fotogramétrico Agisoft PhotoScan y el programa de diseño AutoCAD de Autodesk, determinaremos los alzados (con representación ortogonal), secciones, planta y detalles necesarios como documentación exigida a proyecto y a la que haremos referencia en el próximo apartado.

Las fotografías realizadas, tanto para la fotogrametría aérea como terrestre, son empleadas sin distinción. A partir de esta información gráfica, el software deduce la orientación y ubicación espacial de las cámaras con relación al cuerpo o entorno y, haciendo uso de los flujos de trabajo de PhotoScan, enumerados en el capítulo 3 apartado 3 de metodología, reconstruiremos los modelos 3D de alzados, planta y detalle requeridos, obteniendo estas singularidades:

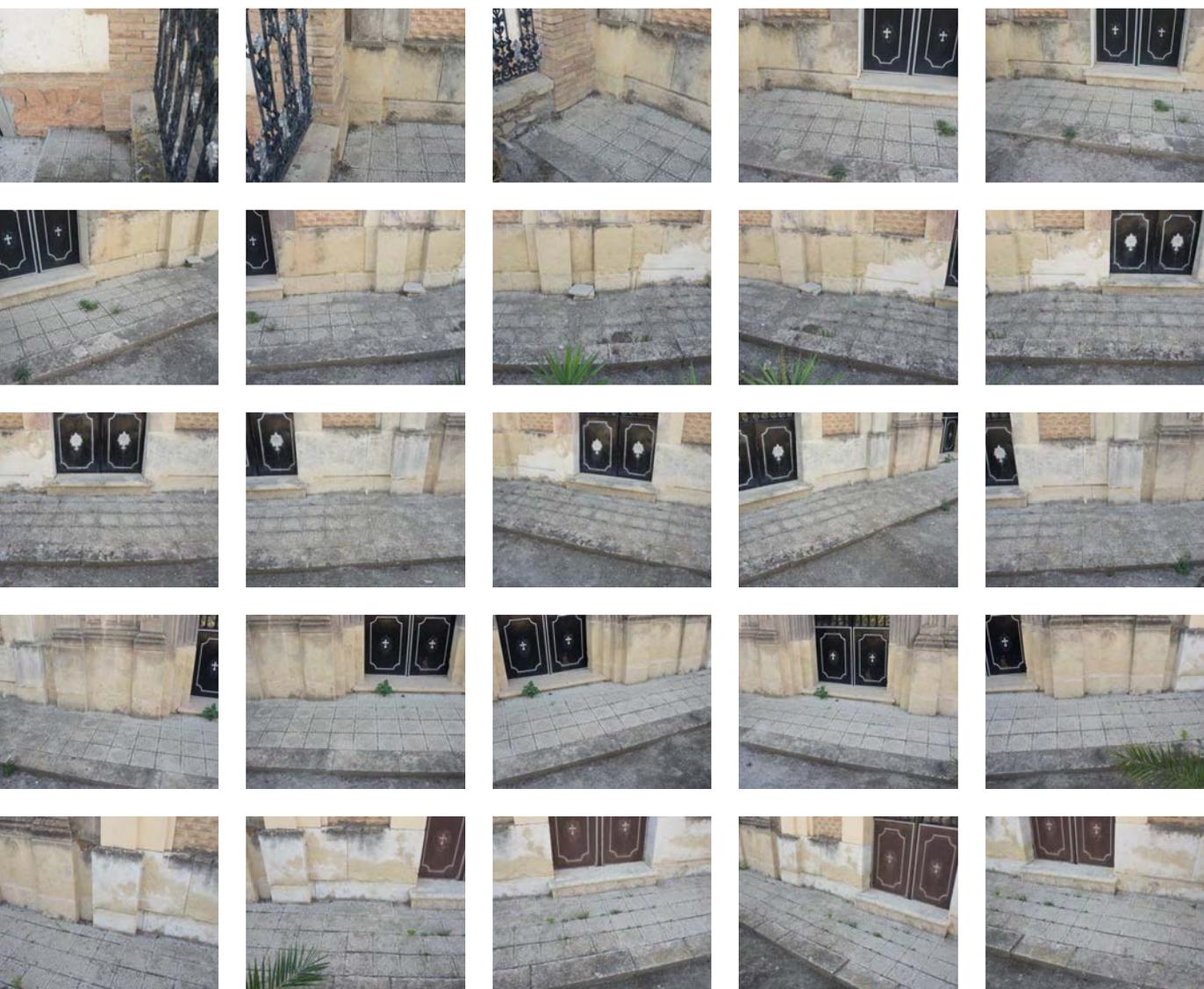


Figura 221. Collage con parte del reportaje fotográfico extenso realizado para la documentación fotogramétrica del bien patrimonial. Módulo de panteones del Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Actividad		Requerimiento			
		Alzado general	Detalle cornisa / ornamentación	Detalle zócalo	Planta
N° de fotografías	Terrestre	145	49	36	-
	Aérea	30	16	-	16
	Nube dispersa	28.154	12.735	10.455	10.882
Flujo de trabajo	Nube densa	41.655.744	7.657.570	4.324.645	1.368.215
	Malla poligonal	7.133.932	1.531.495	886.435	69.473
	Texturizado	Si	Si	Si	Si
Tiempo de procesado		4 horas 6 min. 44 seg.	7 min. 6 seg.	5 min. 52 seg.	7 min. 58 seg.
Uso de máscaras	Terrestre	Si	Si	No	No
	Aérea	Si	Si	No	No

Tabla 019. Tabla resumen por zonas de actuación fotogramétrica. Fuente: Autor.

Gracias al tipo de superficie, rugosa y bien definida, su materialidad diferenciada, la metodología fotográfica y las condiciones de luminosidad en las que y sobre las que se realizó el levantamiento fotogramétrico podemos afirmar la relativa sencillez con la que se acomete y obtiene documentación gráfica y de virtualización potencial para el modelado de objetos, estructuras o detalles tri o bidimensionales de gran importancia para la toma de decisiones y actuaciones a llevar cabo que han de estar recogidas en un proyecto en el que prima el interés por resolver problemas serios de grietas, posibles derrumbes/caídas, desprendimientos, fracturaciones e, incluso, colapsos totales.

4.2.3.5. *Resultados: documentación, adecuación y optimización*

Tomando como referencia los requerimientos de, por ejemplo, la Junta de Andalucía en torno al Reglamento de Actividades Arqueológicas de la Consejería de Cultura a 17 de junio en su Decreto 168/2003 y en desarrollo de la Ley 1/1991 de 3 de julio para el Patrimonio Histórico de Andalucía se dispone, en su título III dedicado a los procedimientos administrativos, las especificaciones, memorias, informes y actas, que durante del desarrollo de la actividad han de tenerse en cuenta y entregarse, una vez finalizada la actividad autorizada, diciendo que:

“...se han detallado los contenidos de las memorias preliminares, memorias anuales y memoria final a entregar, una vez concluida la actividad, por ser las piezas clave en el proceso de tutela y control de las actividades.”

Los resultados obtenidos con la fotogrametría en esta fase de intervención, la de elaboración de proyecto, en cuanto a interpretación, planimetría, fichas de control, repertorio fotográfico, inventario de materiales, etc., atendiendo a los especificado por Rehabimed, donde se contempla que la documentación gráfica para esta fase de intervención debe contener, al menos, unos planos que definan la geometría, planos generales de alzados a escala, de detalles constructivos de las zonas de interés, planos de acabados, de definición de las intervenciones propuestas, etc., así como en la referencia al contenido documental de los proyectos de conformidad con la Ley 2/1974 de 13 de febrero y el Real Decreto 1000/2010 de 5 de agosto de donde se indica al respecto que los contenidos mínimos exigibles para visado han de ser:

Documentación gráfica exigible	Documentación gráfica vinculada
Índice de la documentación gráfica	Plano de situación
Definición gráfica integral	Plano de estado actual
Bibliografía	Planta general
Anexos	Sección longitudinal
Bibliografía	Sección transversal
Anexos	Planos de detalle

## Plano de intervenciones propuestas Informe fotográfico

Tabla 020. Documentación gráfica exigible a intervenciones en fase de proyecto para intervenciones sobre el patrimonio. Fuente: Realizada por el autor de acuerdo con los requerimientos de la Ley 2/1974 de 13 de febrero y el Real Decreto 1000/2010 de 5 de agosto.

Así, y dando respuesta a la documentación gráfica vinculada al mínimo exigible en esta fase tendremos, empleando la fotogrametría digital (figuras 222 y 223) y el protocolo de actuación del capítulo 3, estos resultados:

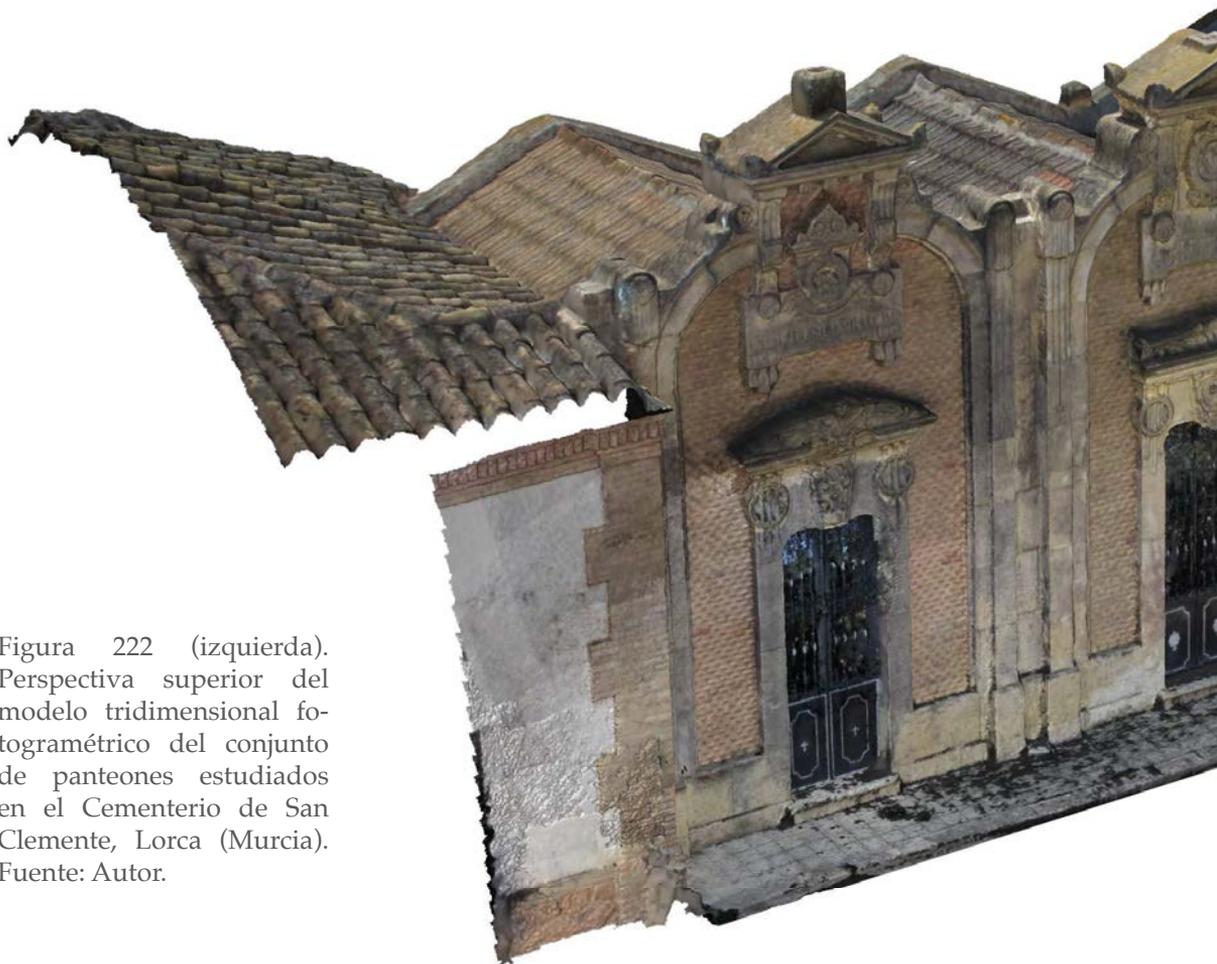


Figura 222 (izquierda).  
Perspectiva superior del  
modelo tridimensional foto-  
gramétrico del conjunto  
de panteones estudiados  
en el Cementerio de San  
Clemente, Lorca (Murcia).  
Fuente: Autor.



Figura 223 (superior). Perspectiva inferior del modelo tridimensional fotogramétrico del conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

- Plano de situación (figuras 224 - 227)



Figura 224 (izquierda). Planta general. La zona sombreada sitúa al Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

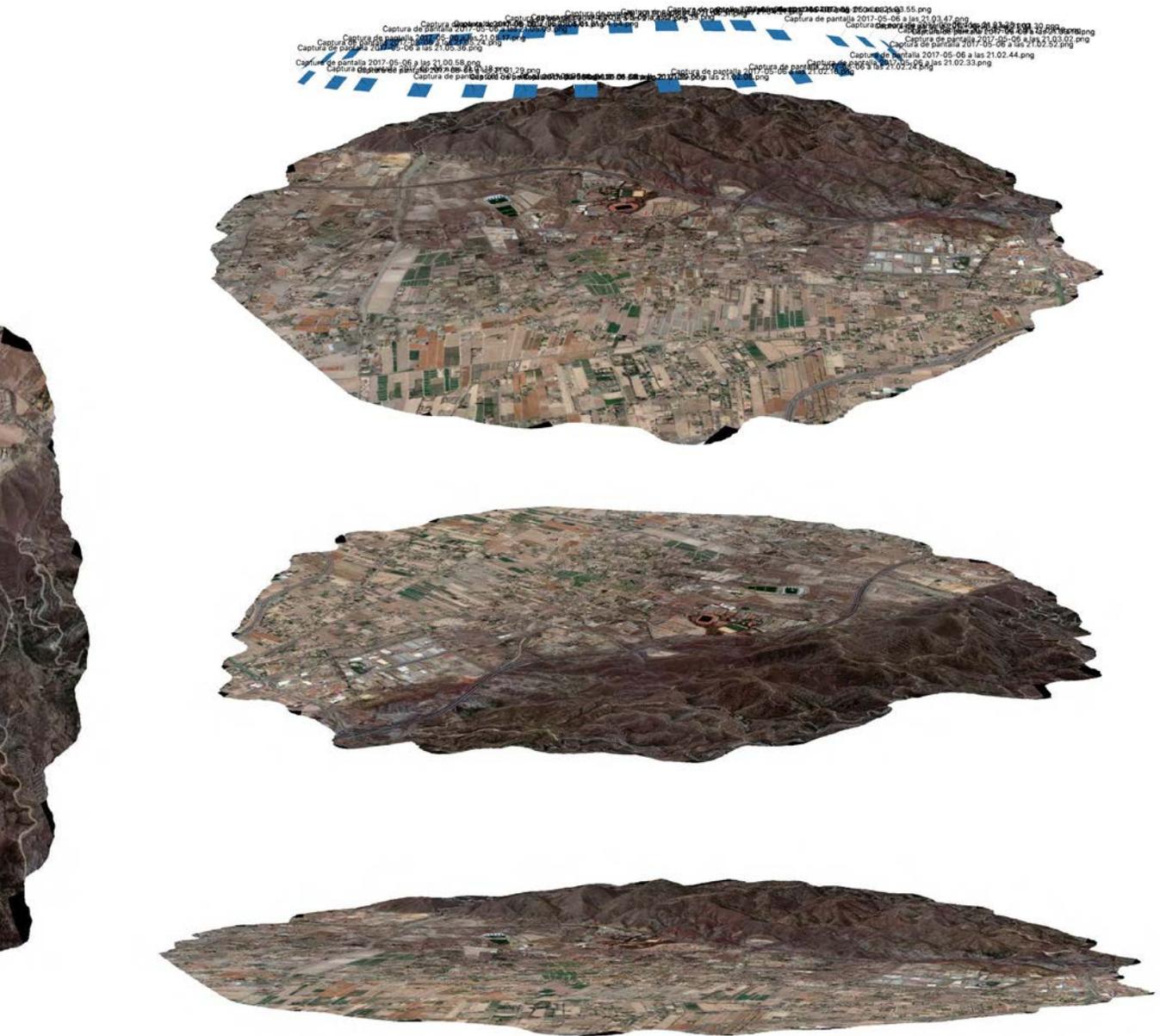


Figura 225 (superior). Trabajo fotogramétrico con PhotoScan sobre información extraída de Google Earth. Situación y entorno del Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 226 (central). Perspectiva tridimensional sur. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 227 (inferior). Perspectiva tridimensional norte. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

- Plano de estado actual (figuras 228 y 229)

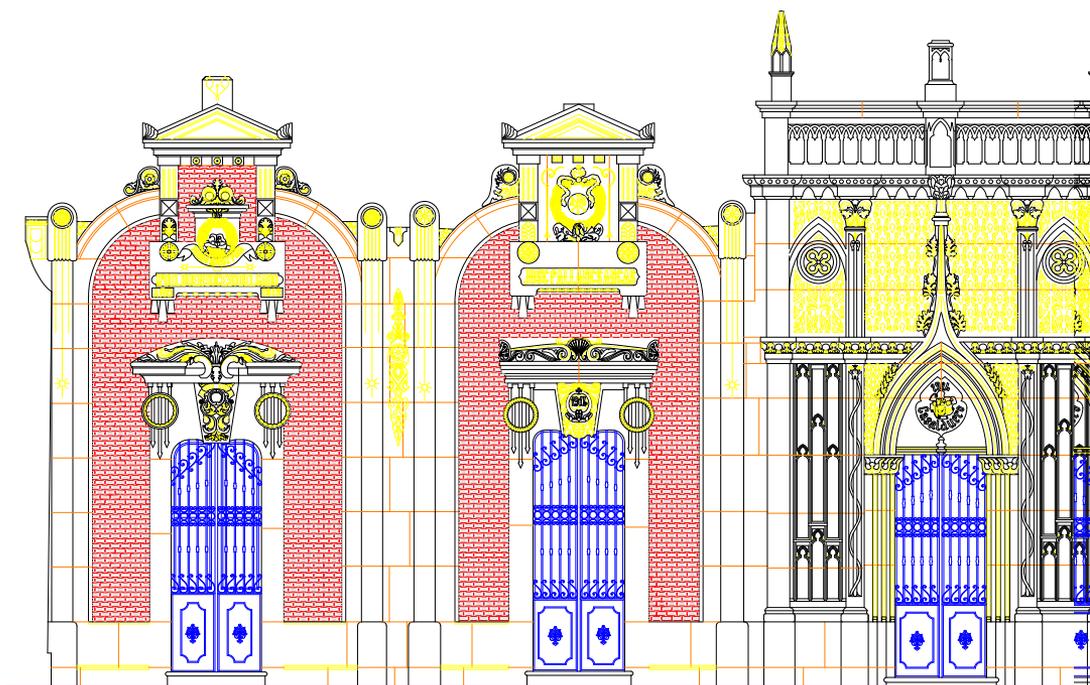




Figura 228. Planimetría de estado actual generada con fotogrametría. Acabado fotorealístico. Conjunto de panteones estudiados del Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 229. Planimetría CAD obtenida del dibujo lineal realizado sobre el levantamiento fotogramétrico. Conjunto de panteones estudiados del Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

- Sección longitudinal (figuras 230 y 231)

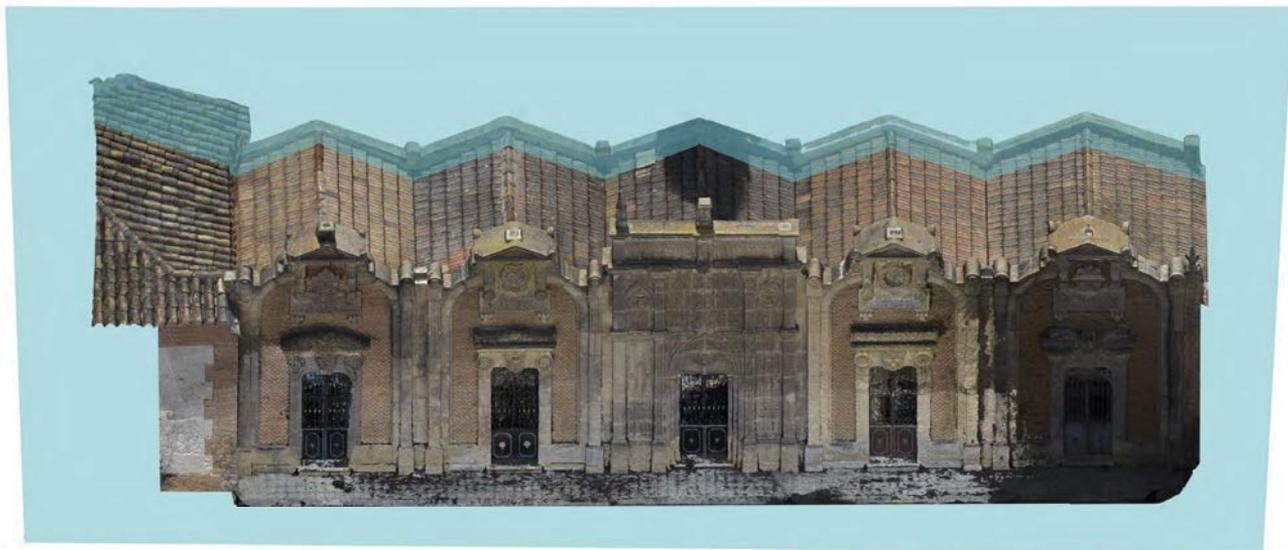
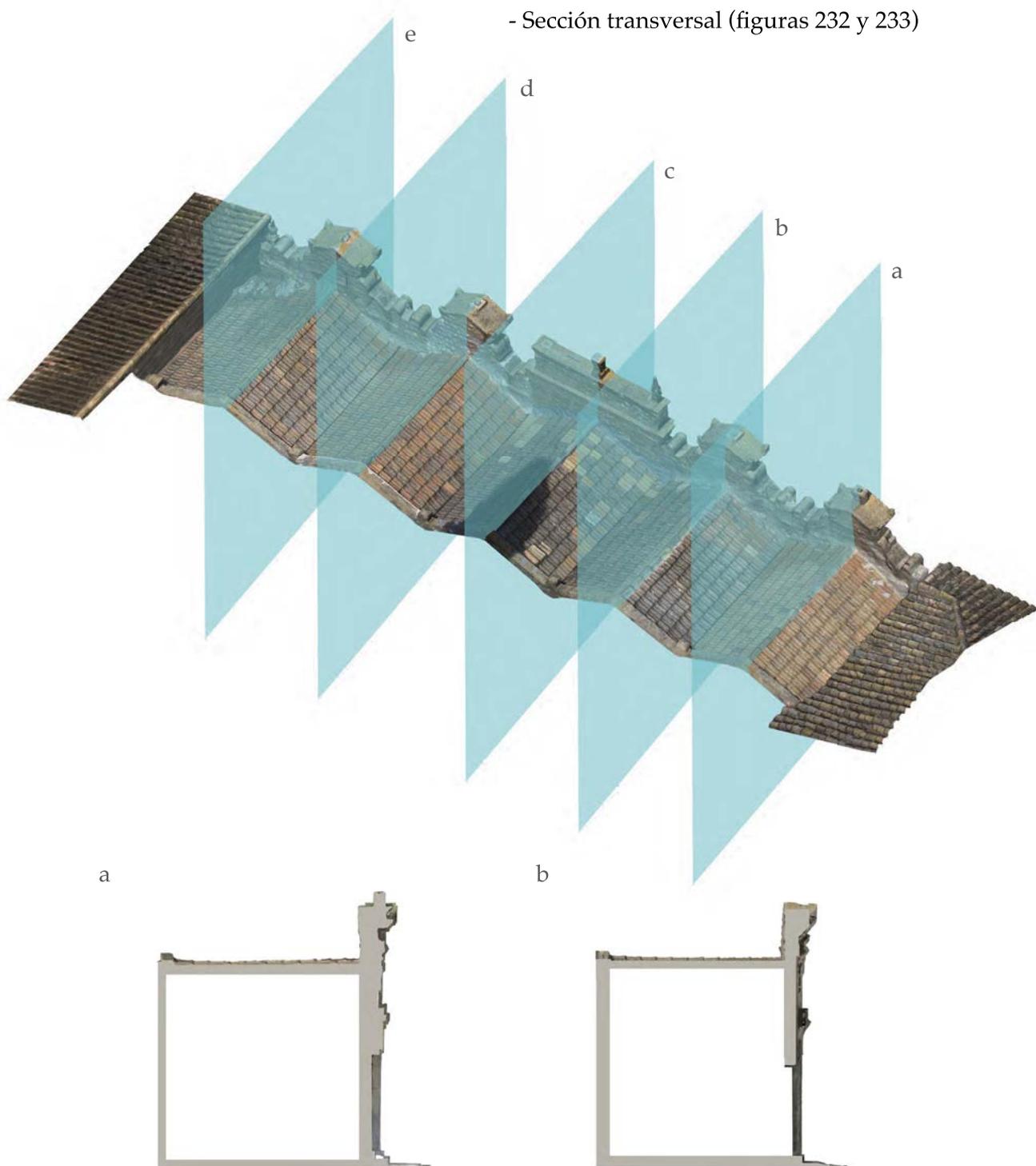


Figura 230. Perspectiva tridimensional con indicación de plano de corte longitudinal. Modelo fotogramétrico del conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 231. Planimetría generada tras la sección. Ortofotografía con valor métrico generada con fotogrametría digital. Conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 232. Perspectiva tridimensional con indicación de planos de corte transversal. Modelo fotogramétrico del conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.



c



d



e



Figura 233. Collage con el conjunto de secciones transversales sobre modelo tridimensional. Panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

- Planos de detalle (figuras 234 - 239)



Figura 234 (superior) y figura 235 (inferior). Respectivamente planta y detalle de zócalo. Panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 236. Collage de ortofotografías fotogramétricas de los frontones del conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.





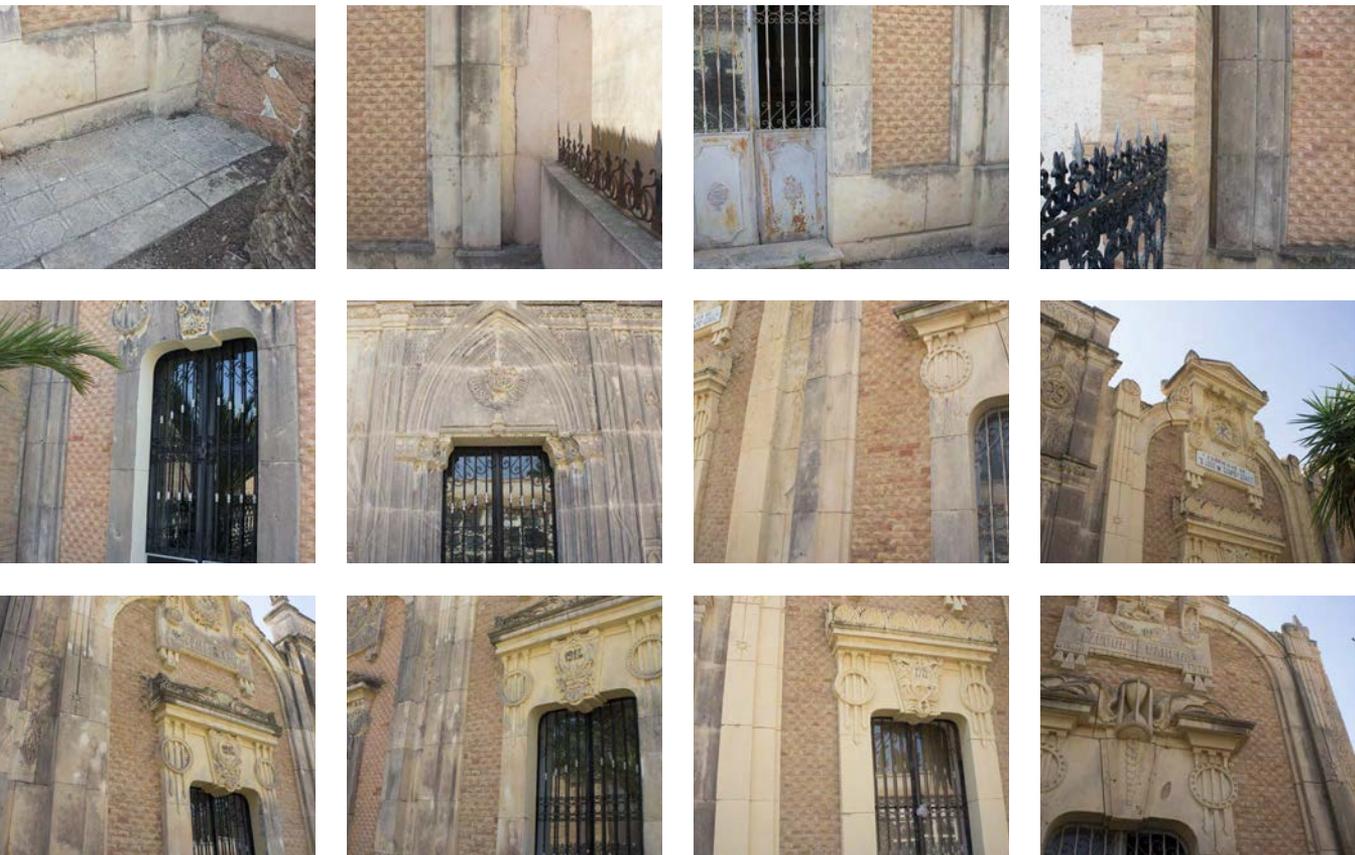
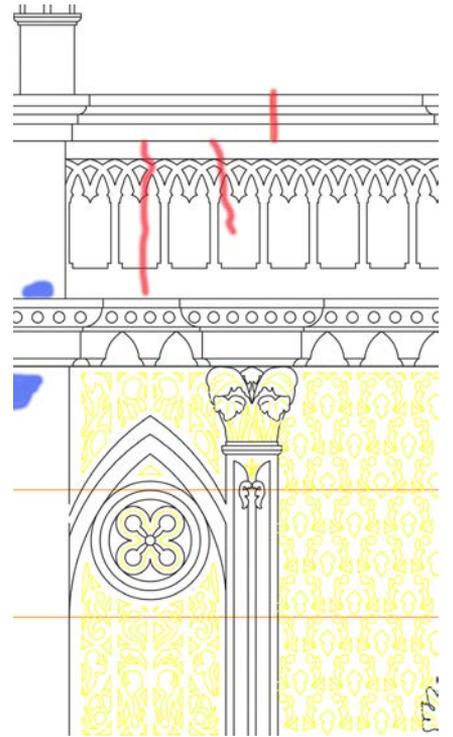
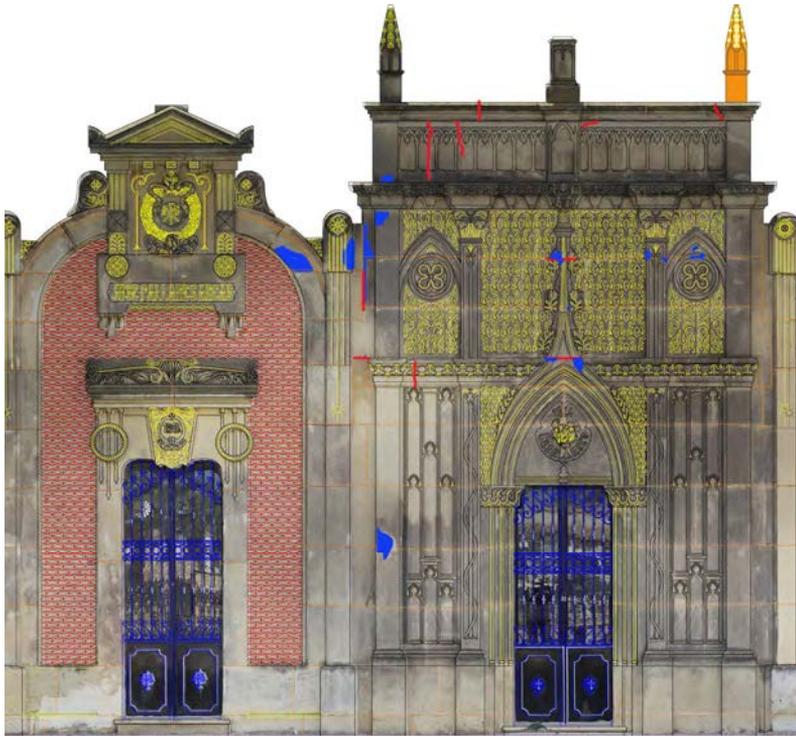
Figura 237 (superior izquierda). Ortofotografía del panteón de María del Buen Suceso Delgado, 1912. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 238 (central izquierda). Ortofotografía del panteón de José Pallarés Arcas, 1914. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 237 (inferior izquierda). Ortofotografía del panteón de Casalduero, 1914. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 238 (superior derecha). Ortofotografía del panteón de José María Campoy Gómez, 1912. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 239 (inferior derecha). Ortofotografía del panteón de Ezequiel García, 1911. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.





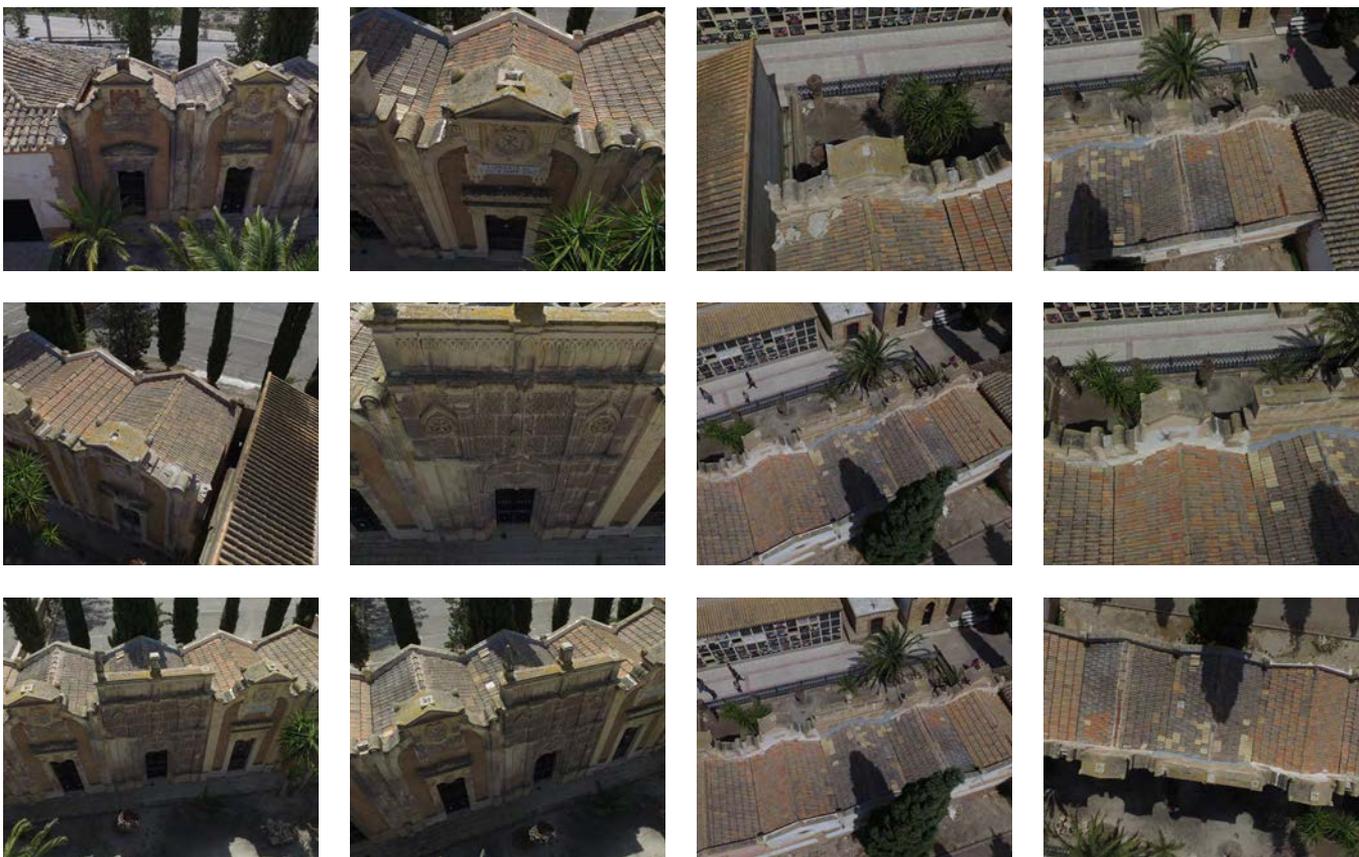
- Leyenda:
- Grietas
  - Desconchados
  - Desprendimientos

Figura 240 (superior izquierda). Ortofotografía del panteón de María del Buen Suceso Delgado, 1912. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 241 (superior central). Representación lineal en CAD realizada sobre ortofotografía fotogramétrica. Ubicación de zonas a intervenir. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 242 (superior derecha). Ortofotografía fotogramétrica. Ubicación de zonas a intervenir. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 243 (inferior). Collage del reportaje fotográfico derivado del levantamiento fotogramétrico. Terrestres y aéreas. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.



Analizada la fase de proyecto y señalada la documentación mínima exigida en esta, se muestra, en la tabla 021, una comparativa de resultados temporales<sup>62</sup> confrontando los rendimientos de trabajo (figura 244) obtenidos en gabinete empleando la metodología de levantamiento tradicional y los obtenidos del proceso fotogramétrico.

Requerimiento	Metodología tradicional	Fotogrametría
Plano de situación	2 horas 12 minutos	8 minutos 27 segundos
Plano estado actual	36 horas 50 minutos	3 horas 3 minutos 30 segundos

<sup>62</sup> La cronología de tiempos se apoya en los resultados del rendimiento generado por el software y hardware de referencia en cada caso así como las especificaciones de calidad requeridas en cada requerimiento. El valor, expresado en horas, minutos y segundos, viene definido por el sumatorio de tiempos de procesamiento de parámetros dado por el software para cada flujo de trabajo así como por el tiempo de conversión CAD en los casos en los que se precise.

Figura 244 (inferior). Técnicos durante la toma de datos en campo por métodos tradicionales. Acceso al Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.



Planos de detalle	7 horas 50 minutos	20 minutos
Plano de intervenciones propuestas	1 hora 50 minutos	1 hora 50 minutos
Planimetría en plano de sección	12 horas 20 minutos	1 horas 5 minutos
Informe fotográfico	30 minutos	69 minutos 12 segundos*

\* Se corresponde con el tiempo de trabajo de campo para la toma integral de las fotografías del levantamiento por fotogrametría digital.

Tabla 021. Tabla comparativa de rendimientos entre los sistemas de trabajo tradicionales efectuados en esta misma etapa y los resultados obtenidos del empleo de la fotogrametría. Fuente: Autor.



### 4.3. FASE 03. EJECUCIÓN.

En torno a los criterios de actuación existen una legislación vigente en España y una serie de disposiciones internacionales que sirven de base a la argumentación teórica en materia de intervención sobre bienes patrimoniales, que constituyen el marco jurídico.

Como bien se citaron en el capítulo 2.1 de esta tesis, en el ámbito internacional, y ante la recomendación expresa del ICOMOS, se pueden destacar las diferentes Cartas del Restauero. Bajo estas, y como criterios básicos informativos ante acciones de intervención, avaladas por el Instituto de Patrimonio Histórico Español<sup>2</sup>, se contemplan las siguientes pautas/disposiciones comprendidas en el Decálogo de la Restauración dónde se afirma que:

“Los criterios de intervención deben basarse en documentación que aporte datos fidedignos del objeto.”

“Documentación de las distintas fases de la intervención, incluyendo la elaboración de una memoria del desarrollo de la misma.”

#### 4.3.1. Procedimientos y trámites previos

El primero de los factores que interfieren directamente en una intervención es el constructor (figura 245). La riqueza aportada por un constructor que conoce y realiza los trabajos bajo técnicas tradicionales de construcción es vital. En algún trabajo concreto es posible formar al constructor en una técnica concreta, pero, en la mayoría de las circunstancias, se deberá desistir de la técnica por su alto coste económico.

En aquellos casos en los que, por cuestiones de disponibilidad regional o posibilidad económica se tenga que recurrir a una empresa constructora poco especializada se vigilará la ejecución material y técnica para garantizar la calidad del trabajo y la profesionalidad del mismo.

---

<sup>2</sup> [<http://ipce.mcu.es/conservacion/intervencion.html>].

En la programación de la intervención se deben considerar los tiempos previstos de cara a la obtención de las respectivas licencias por parte de las autoridades competentes. En esta etapa los tiempos de espera en actuaciones relacionadas con bienes catalogados suelen ser mayores y, bajo condiciones específicas, se corre el riesgo de que el informe sea desfavorable y se deba regresar a la fase anterior de proyecto.



Figura 245. Empleo de métodos, herramientas y materiales tradicionales y autóctonos. Tapial cercano a los Jardines del Generalife, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Según el título preliminar de la Ley del Patrimonio Histórico Español, en su artículo 1º epígrafe 2º:

“Integran el Patrimonio Histórico Español los inmuebles y objetos muebles de interés artístico, histórico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico o técnico. También forman parte del mismo el patrimonio documental y bibliográfico, los yacimientos y zonas arqueológicas, así como los sitios naturales, jardines y parques, que tengan valor artístico, histórico y antropológico.”

Con ello, el régimen específico de protección al que están sometidos aquellos bienes declarados de Interés Cultural (o designación equivalente según la legislación autonómica) y su entorno, y salvo aprobación específica de un Plan Especial de Protección, consiste en que la intervención sobre los mismos y en su ámbito más cercano requiere de una autorización o permiso expreso de la administración competente en materia de patrimonio histórico (artículo 19, 22 epígrafe 1º y 39 epígrafe 1º de la Ley del Patrimonio Histórico Español).

Es cada legislación autonómica quien determinan las exigencias mínimas de los proyectos sometidos a autorización previa, exigiendo además la confección de un informe que, normalmente, tratará la importancia histórica, arqueológica, arquitectónica y/o artística, la diagnosis y la metodología a desarrollar sobre el patrimonio afectado.

Así, en el epígrafe 1º y 3º, respectivamente, del artículo 46 de la Ley 4/2007 de 16 de marzo de Patrimonio Cultural de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia sobre autorización de obras en los conjuntos históricos, sitios históricos, zonas arqueológicas, zonas paleontológicas y lugares de interés etnográfico se dice que:

“En tanto no sea aprobado el plan especial de protección a que se refiere el artículo 44 de la presente Ley, la concesión de licencias o la ejecución de las otorgadas antes de la declaración precisará autorización de la dirección general con competencias en materia de patrimonio cultural. La dirección general deberá resolver en el plazo de tres meses. Transcurrido dicho plazo sin que la Administración resuelva y notifique la resolución el interesado podrá entender desestimada su solicitud.”

“Una vez aprobado definitivamente el plan especial de protección, los ayuntamientos serán competentes para autorizar las obras que lo desarrollan, debiendo dar cuenta a la dirección general con competencias en materia de patrimonio cultural de las licencias otorgadas en un plazo máximo de diez días desde su concesión. En todo caso, las intervenciones arqueológicas y paleontológicas requerirán la autorización de la dirección general con competencias en materia de patrimonio cultural en los términos del artículo 56.3 de la presente Ley. Asimismo, y en todo caso, las intervenciones que afecten a monumentos, espacios públicos o a los exteriores de los inmuebles comprendidos en sus

entornos requerirán la autorización de la dirección general con competencias en materia de patrimonio cultural, en los términos del párrafo primero del presente artículo.”

El consentimiento para intervenir en bienes declarados deberá ceñirse a los criterios señalados por la legislación de patrimonio (artículo 39 epígrafes 2º y 3º de la Ley del Patrimonio Histórico Español) y será de aplicación, incluso, para aquellos casos considerados de carácter necesario e inaplazable. Esta no disculpa de solicitar la licencia de obras (artículo 23 epígrafe 1º de la Ley de Patrimonio; artículo 33 epígrafe 5º de la Ley 14/2007, de 26 de noviembre, del Patrimonio Histórico de Andalucía; artículo 34 epígrafe 1º de la Ley 2/1999 de 29 de marzo, de Patrimonio Histórico y Cultural de Extremadura, entre otras), pero la autorización en cuestión es previa a la licencia de obra, de tal forma que esta última no podrá concederse sin aquella (artículo 23 epígrafe 1º de la Ley de Patrimonio Histórico Español).

Cuando nos encontramos ante un Plan Especial de Protección, el régimen de aprobación previo presenta peculiaridades. Según la ley de Patrimonio, este Plan, será redactado por los Ayuntamientos siempre que nos encontremos ante un conjunto histórico, zona arqueológica o sitio histórico de interés cultural declarado y, además, su visto bueno requerirá de informe favorable elaborado por parte de la Administración competente en materia de patrimonio (artículo 20 epígrafe 1º).

Una vez aprobado, los ayuntamientos tienen potestad para autorizar las obras previstas que no afecten a Jardines Históricos o su entorno ni a inmuebles monumentales. Aun así, deberán notificar a la administración autonómica cada una de las licencias que otorguen (artículo 20 epígrafe 4 de la Ley de Patrimonio Histórico Español y la mayoría de normas autonómicas). Asimismo, la administración competente en materia de patrimonio efectuará un informe favorable mientras se realiza la tramitación del plan de autorización de licencias o la ejecución de las obras ya autorizadas de acuerdo con el epígrafe 3º del artículo 20 de la Ley de Patrimonio.

#### **4.3.2. Ejecución de la intervención**

Es durante la fase de obras cuando suelen surgir imprevistos frente a lo

esperado en proyecto, por lo tanto, será necesaria la observación continuada del proyecto ante posibles nuevos descubrimientos o contratiempos que, en algunos casos, podrían programar la necesidad de modificar el proyecto.

En esta fase destacaremos las siguientes etapas:

- Control económico.
- Replanteo inicial (figura 246).
- Control evolutivo y desplazamientos derivados de la actuación.
- El control de la garantía de las soluciones de conservación.
- La coordinación de la seguridad y salud de los trabajos.

Así mismo, todos aquellos aspectos organizativos particulares (como la programación de trabajos, planificación de operaciones, accesibilidad de nuevos materiales, maquinaria y herramientas o retirada de escombros, etc.) y de protección de determinados elementos del bien patrimonial se han de tener en cuenta.

Con la ejecución, se ha de establecer el mecanismo que permita, llegada la finalización de la misma, contar con un dossier de aquello que, realmente, se ha terminado por ejecutar. Es decir, un agregado de planos que manifiesten no tanto lo proyectado si no lo realmente realizado. Este documento, imprescindible para la Carta de Venecia y especificado así en su artículo 16<sup>63</sup>, en cuanto a documentación de intervenciones se refiere, es también un archivo que facilita la organización de un programa de mantenimiento y musealización posteriores (FASE 04).

Además, para la Carta del Restauero:

*“Toda intervención debe ser estudiada previamente y argumentada por escrito y durante su curso deberá llevarse un diario, al que seguirá un informe final, con la documentación fotográfica de antes, durante y después de la intervención.”<sup>64</sup>*

---

63 Artículo 16 de la Carta de Venecia de 1964: Los trabajos de conservación, de restauración y de excavación irán siempre acompañados de la elaboración de una documentación precisa, en forma de informes analíticos y críticos, ilustrados con dibujos y fotografías. Todas las fases del trabajo de desmontaje, consolidación, recomposición e integración, así como los elementos técnicos y formales identificados a lo largo de los trabajos, serán allí consignados.

64 Artículo 8 de la Carta del Restauero de 1972.



Figura 246. Estaca de replanteo previo al inicio de las excavaciones arqueológicas en las inmediaciones de la Torre Nazarí de Huércal-Overa, Almería. Fuente: Autor.

### 4.3.3. Recepción

Con la finalización de las intervenciones se formalizarán los trámites legales para dar por acabada la fase tercera de ejecución. Llegados a esta etapa, aprovecharemos para analizar la construcción, adecuación a proyecto y gestión ya que, si bien no podremos efectuar correcciones generales, si servirán para perfeccionar la fase de proyecto en futuros encargos.

Esta Memoria Final de Intervención o Memoria Final de Obra (según sea el caso o la Comunidad Autónoma en la que nos encontremos) tendrá como contenidos mínimos (Protocolo nº3 de Memoria Final de la Junta de Andalucía y el Instituto del Patrimonio Cultural de España) una introducción con la descripción del objeto del proyecto y su identificación; un resumen de intervención con su diagnóstico, tratamiento y documentación gráfica asociada; una descripción de las

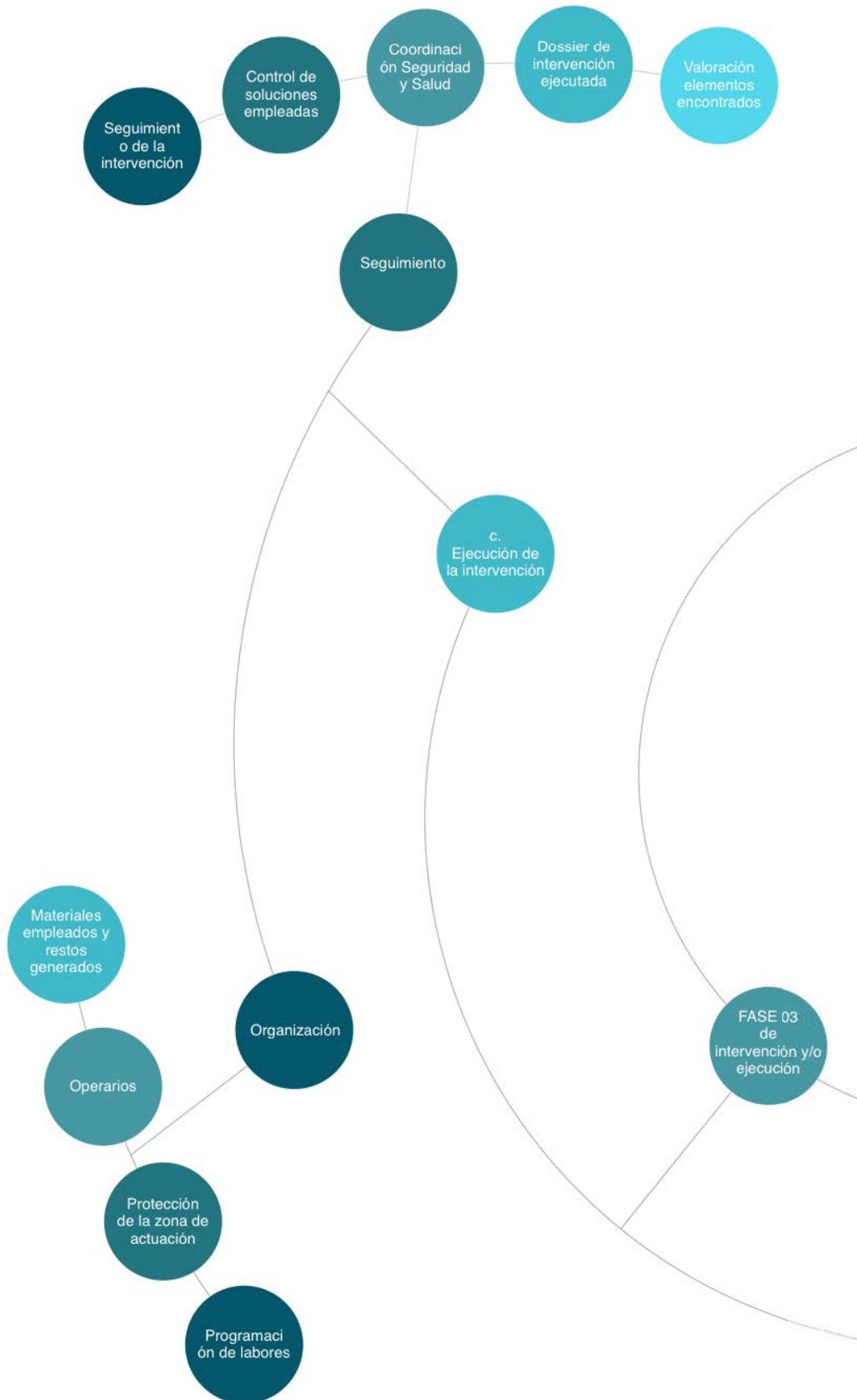
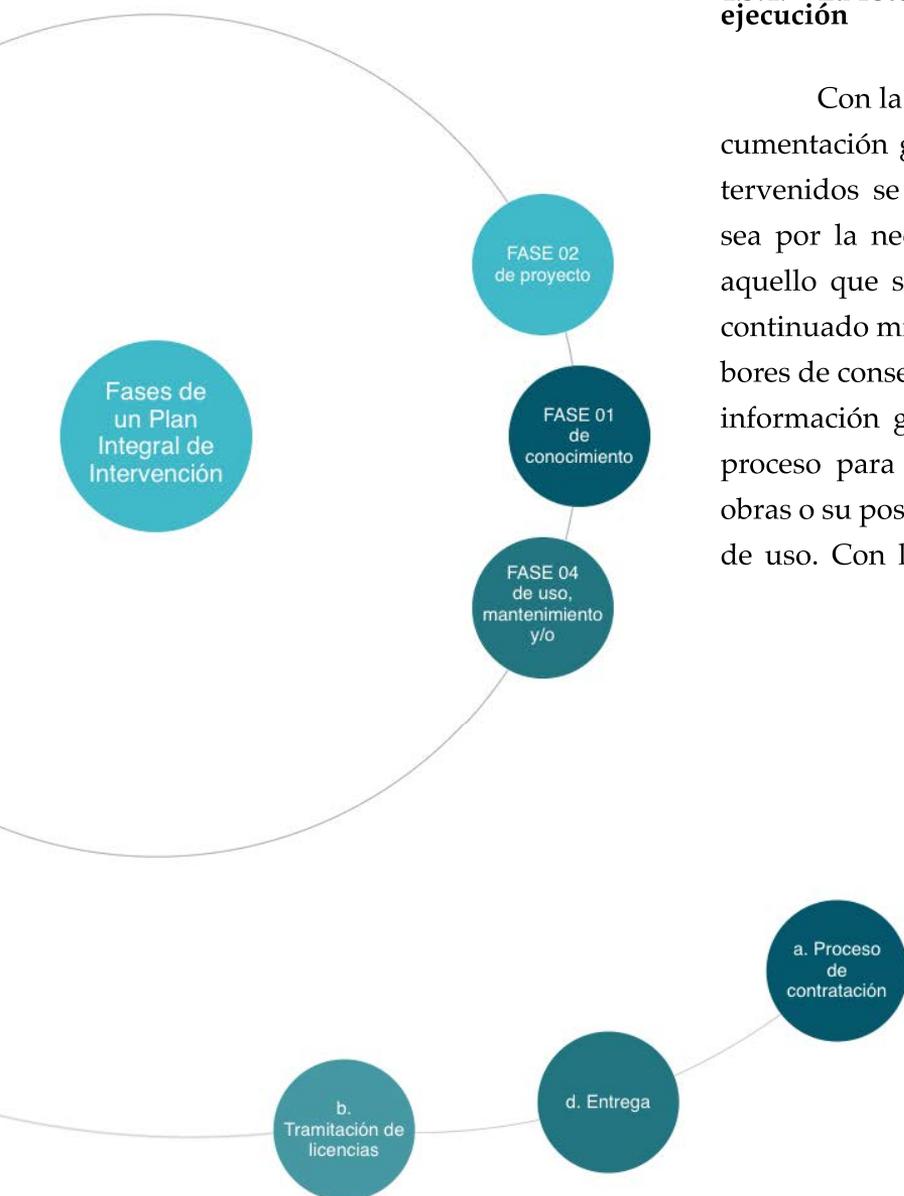


Figura 247. Esquema de etapas de trabajo en la fase de intervención integral 03.  
Fuente: Autor.



actuaciones realizadas por ámbitos o zonas en cuanto a su estudio científico-técnico, de nuevo, acompañado de documentación gráfica y, por último, un capítulo de recomendaciones donde se recojan fotografías previas y posteriores a la intervención (figura 247).

#### 4.3.4. La fotogrametría en la fase de ejecución

Con la fase de ejecución, la documentación gráfica de los bienes intervenidos se hace indispensable. Ya sea por la necesidad de documentar aquello que se preserva para su uso continuado mientras se realizan las labores de conservación o por conservar información gráfica y fotográfica del proceso para la elaboración final de obras o su posterior difusión en la fase de uso. Con la intención de exponer

cómo la fotogrametría es un útil a considerar en la etapa de ejecución, de principio a final, se presenta el siguiente ejemplo concreto.

Finalizada la fase proyecto (02), nos encontramos en un período de actuación física sobre el patrimonio. Aquí, por ejemplo, la Ley 4/2007 de Patrimonio Cultural de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia en su artículo 40 de intervención y ya dentro de su último epígrafe (5º) especifica que:

“Una vez concluida la intervención, el director técnico entregará a la dirección general con competencias en materia de cultura una memoria en la que figure, al menos, la descripción pormenorizada de la intervención ejecutada y de los tratamientos aplicados, así como documentación gráfica del proceso seguido.

Dicha memoria pasará a formar parte de los expedientes de declaración del bien en cuestión.”

Ante esa necesidad documental, el extenso archivo fotográfico derivado de las labores fotogramétricas y la información gráfica obtenida de su empleo, proporciona una mayor fuente documental que la adquirida habitualmente por la metodología topográfica tradicional ante un proceso delicado en el que las representación antes, durante y después del proceso de actuación puede ser fundamental.

#### 4.3.4.1. Antecedentes

En este caso, y por tratarse de una buena forma de demostrar variaciones evidentes a simple vista (pues partimos de terreno virgen y culminamos con las labores de tapado y protección de final de intervención), se escoge la 2ª Fase de Actuación sobre el Yacimiento de Bolvax, en Cieza (Murcia).

El Proyecto de Investigación Arqueológica y Puesta en Valor Sociocultural del Yacimiento de Bolvax, en Cieza, es promovido por el Excmo. Ayuntamiento de Cieza y la Fundación Cajamurcia así como por numerosos ingresos de micromeceñas que colaboraron en la campaña de manera altruista.

Cuenta con un equipo de trabajo dirigido por los arqueólogos Luis Enrique de Miquel Santed, conservador de Museos de la Región de Murcia; Antonio Ma-

nuel Poveda Navarro, profesor de la Universidad de Alicante y director del Museo Arqueológico de Elda; Joaquín Salmerón Juan, jefe del Servicio de Patrimonio Histórico de Cieza y María José Morcillo Sánchez, docente y gestora cultural; así como por las restauradoras Ester Piñera Morcillo y Alberta Martínez Martínez, la Ingeniera de Construcción María Sandoval Hernández y Francisco Javier López Martínez y José Enrique Segura Valera como Arquitecto e Ingeniero de Edificación respectivamente.

Este proyecto de investigación arqueológica y puesta en valor sociocultural del yacimiento ibérico romano de Bolvax (que se estima que cuenta con un poblado de superficie total cercana a las 5 Ha., convirtiéndose así en el poblado ibérico más grande de la Región de Murcia), presenta como antecedentes dos campañas previas (en 2013 y 2015 respectivamente) donde por un lado, ambas, intervinieron sobre la muralla Republicana Romana de opus caementicium y, por otro, esta última (de 2016), y el objeto de nuestra fase tercera de intervención, que excavó estancias exteriores a la muralla constatando el patrón de vivienda aterrazada y adaptada al terreno (sobre la que se detallará como la fotogrametría colabora activamente en la etapa de ejecución/actuación).

Al tratarse de un supuesto con gran difusión mediática, una posición en el entorno dominante y una posibilidad de intervención clara de la fotogrametría aérea y la topografía, se presentan algunas de los condicionantes que hicieron considerar esta excavación como adecuada:

- Posibilita justificar y demostrar que la fotogrametría aérea es, también, una pieza fundamental en actuaciones de complicado estacionamiento terrestre o gran superficie de intervención.
- Se enclava en una ubicación que, con anterioridad, ha demostrado ser asiento de hallazgos como la moneda más antigua de Murcia, una státera de Lesbos datada entre el 500 y el 480 antes de Cristo, la única muralla de opus caementicium del interior del Levante Español o el único mosaico opus signinum.
- Demuestra la evolución documental realizada en fase de ejecución y las posibilidades de uso museológico de la información gráfica generada en ella.
- Por último, se desarrolla en un contexto multidisciplinar (pues aparecen



Figura 248. Segunda fase de excavación de Bolvax. Instrumental topográfico para el levantamiento de la cuadrícula de apoyo y referencia. Al fondo Medina Siyâsa. Cieza, Murcia. Fuente: Autor.

profesionales y expertos de la arquitectura, topografía, restauración, arqueología, historia y botánica).

La etapa de trabajo contemplada sobre la segunda etapa de excavación, explora las particularidades de documentación fotogramétrica relacionadas con las fases de intervención integral del patrimonio.

#### 4.3.4.2. Contexto geográfico-histórico

Nuestro objeto de estudio es el yacimiento de Bolvax, nombrado así por el



emplazamiento ciezano en que se localiza (figura 248). Se encuentra en el margen izquierdo de la vaguada del río Segura a 2 kilómetros del municipio de Cieza y a 1,4 kilómetros del noroeste de Abarán, ambos en la Región de Murcia, y fue conocido como Thader en la antigüedad (Plinio, NH III, 19-20).

En el ámbito general, el asentamiento, se enclava a la entrada norte del Valle de Ricote sobre una colina con laderas de fuerte pendiente, por lo que redonda en un lugar con claras aptitudes geoestratégicas.

El yacimiento, que connota unas modificaciones geográficas determinadas, como el aterrazamiento del terreno, y que derivan en serias incógnitas acerca de

cómo se desarrollaría el entorno en época íbera. Sabemos que, tal y como reseña Tortosa Rocamora (2006) toda investigación y análisis en torno al mundo ibérico comporta dificultades que “nos promueven a aprehender la realidad histórica de manera sesgada y parcial” por lo que debemos intentar superar esas problemáticas y responder a esa exploración.

En el particular, la excavación, se enmarca en el Sistema Subbético junto con el Cerro del Castillo, situado frente al yacimiento (figura 249). Según el Instituto Geológico y Minero de España<sup>64</sup>, en este cerro, aun presentando un reducido espacio, se localiza una acumulación de materiales de diferentes eras geológicas (calizas y areniscas). Esto es provocado por la acción de cabalgamientos o fallas inversas que comprimieron la geología de la zona y provocaron un gran cortado en el lado norte. En esta elevación se observan desniveles y escarpados que conforman un relieve inclinado que facilitaría, por otro lado, la defensa del mismo.

Bolvax, es un yacimiento arqueológico localizado en la cumbre y laderas de un cerro de, aproximadamente, unos 240 m. de altitud y que se ubica en la estribación occidental de la Sierra del Morrón junto al río Segura y su confluencia con la Rambla del Moro. Su ubicación lo determina como un asentamiento en altura con una superficie, actualmente aterrazada (fruto de las labores de cultivo realizadas sobre el cerro durante los años 50 y 60 del siglo XX, y caracterizada por una cobertura arbustiva densa.

En este yacimiento (figura 250) se datan diferentes fases de ocupación que oscilan desde el siglo VI a.C. al XI d. C., siendo, la íbera, romana y andalusí las culturas predominantes. Esta situación, es ratificada por la variedad de materiales aparecidos en su superficie y recogidos tanto por actuaciones clandestinas como por diversas prospecciones controladas a lo largo del siglo XX.

Estos hallazgos, entre los que podemos destacar la estátera de Lesbos que data la ocupación del yacimiento ya entre el 500-480 a.C. (Lillo, García y González, 1980 pp. 161-162); la lucerna paleocristiana (Salmerón, 1990 pp. 581-584) o cazuelas o marmitas de origen andalusí, demuestran una larga ocupación en el tiempo en torno a este mismo asentamiento y que fue una zona de gran valor estratégico

---

<sup>64</sup> IGME [<http://www.igme.es/>].



Figura 249 (superior) y figura 250 (inferior). Respectivamente: Ubicación de la zona de intervención con respecto a ciudad de Cieza (Murcia); Ubicación del yacimiento con respecto a la primera fase de excavación, Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

para el comercio en la Antigüedad valiéndose de las vías de comunicación pecuarias y fluviales, sirviendo de nexo de unión con otros asentamientos ibéricos y de distribuidor entre el interior y la costa con regiones como la Bastetania y la Oretania de la época íbera y, posteriormente, en época romana (Morcillo, 2015).

Esta excavación responde a la necesidad de proveer información sobre la estructuración del yacimiento tanto en ubicación del poblado como en localización de las áreas de necrópolis y santuario y, además, ayudarnos a reconocer las diferentes fases del asentamiento y su pervivencia en el tiempo.

Por ello, y a pesar de tratarse de un lugar ya conocido (figura 251) por la cantidad y variedad de bienes arqueológicos extraídos y desde los años treinta por los diversos y cuantiosos materiales arqueológicos extraídos y estudiados de forma independiente en numerosas investigaciones<sup>63</sup>, urge dotar al yacimiento de un mayor conocimiento y nueva interpretación.

#### 4.3.4.3. Elección, justificación y planteamiento del caso

La elección de este yacimiento es debida a varias circunstancias:

- La primera, ya tratada en el apartado 4.3.4.3 es su ubicación. Con excelente posición geográfica y estratégica en la Antigüedad por su localización en torno a la frontera entre la Contestania y la Bastetania.
- Y la segunda su necesaria revisión, análisis y documentación del poblamiento íbero y romano en el área de la Vega Alta del río Segura a su paso por el Valle de Ricote que, hasta el momento, era inexistente y que, sobre todo es debido a la ausencia de asentamientos íberos en la zona, a excepción del yacimiento de El Plomar, en el mismo municipio de Cieza y muy



<sup>63</sup> Como las realizadas por García y Bellido, Ramallo Asensio, Iniesta Sanmartín, García Cano, Page del Pozo, Lillo Carpio, Yelo Templado y Salmerón Juan, entre otros autores.

cerca de Bolvax, o el asentamiento de Cabezo del Tío Pío, al otro extremo del Valle de Ricote, ya en Archena.



Figura 251. Porción de terreno a vista de dron de la zona seleccionada para excavar en segunda fase de actuación. A la izquierda se aprecia la primera fase de excavación ya protegida. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

La decisión de emprender el proyecto con la fotogrametría como herramienta documental reside, fundamentalmente y entre otras, en:

- Constituye una forma de conservación y difusión permitida por la legislación y muy próxima a las tendencias actuales de tratamiento de la información.
- Al tratarse de un bien patrimonial en el que las fases de trabajo sobre el mismo conllevan cambios perceptibles pero no cuantificables con fa-

cilidad (por ejemplo el cálculo de volúmenes de tierras desplazadas) por la metodología tradicional de actuación, le confieren a esta información más valía según pase el tiempo (y, consecuentemente, será un reflejo de la realidad desaparecida).

- Conforman un sistema documental fácilmente almacenable, tratable y difundible.
- El repositorio se puede adaptar a los requisitos variables fruto de la ejecución de intervención.
- La documentación generada es susceptible de ser financiada mediante fuentes externas como convocatorias del Ministerio de Cultura u de otras entidades.
- Representa una herramienta capaz de facultarnos a estudiar las etapas de actuación, sus consecuencias y posible evolución en futuras fases de excavación en los tres ejes del espacio.

Consecuentemente, las necesidades concretas de esta fase son la documentación integral en fase de ejecución de la segunda fase de Actuación sobre el Yacimiento de Bolvax de Cieza (figura 252), en la Región de Murcia, con la intención de conocer en detalle sus materiales, hallazgos fruto de la excavación, estimación de volúmenes desplazados y evidencia de las variaciones en el entorno ocurridas durante la fase de intervención o ejecución. De igual forma, y dado que se trabaja paralelamente con arqueólogos e investigadores especialistas en el empleo de técnicas tradicionales de levantamiento y documentación, se podrán evaluar las ventajas e inconvenientes entre ambas técnicas.

Las labores fotogramétricas desarrolladas en torno a este bien, dando respuesta a las indicaciones recogidas en los apartados anteriores de este capítulo, han sido:

- Trabajo de campo. Toma de datos y reportaje fotográfico.
- Trabajo de gabinete. Levantamiento fotogramétrico y obtención del modelo.

Así mismo, el método empleado ha sido:

- Structure from motion (SFM).

Figura 252 (derecha). Ubicación de primera y segunda excavación con respecto al vial más próximo (MU-512). Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



El instrumental:

- Cinta métrica (Stanley powerlock).
- Estación total Leica FlexLine TS02.
- Cámara Sony Nex-5 con objetivo 18-55 mm.
- RPA del fabricante DJI modelo Phantom 3 profesional con cámara incorporada de 35 mm.

El hardware y software:

- Ordenador sobremesa iMac 5k.
- PhotoScan Profesional 1.2.5.
- AutoCAD 2015.
- CloudCompare v.2.8.1.

#### *4.3.4.4. Ejecución de la propuesta. Puesta en práctica de las etapas de trabajo fotogramétrico*

Dado que, como hemos explicado con anterioridad, y tal y como sucede en la mayoría de yacimientos ibéricos localizados en la Región de Murcia, véase Coimbra del Barranco Ancho en Jumilla, El Cigarralejo en Mula o el Cabezo del Tío Pío de Archena, las partes del yacimiento se encuentran bien diferenciadas, ocupan gran extensión o están delimitados por accidentes geográficos naturales como desniveles, vaguadas, barrancos, etc.

Esta justificación nos lleva a situarnos en torno a una extensión aproximada de más de 4 hectáreas y media, es decir, unos 45.700 m<sup>2</sup> aproximadamente en la que es necesario la intervención de medios fotogramétricos terrestres y aéreos con la intención de documentar tanto a nivel general como particular y detalle aquellas actuaciones desarrolladas en la fase de ejecución de la excavación.

La implicación de la fotogrametría digital en un levantamiento gráfico, tal y como se reseña en el capítulo 3 de esta tesis, se desarrolla en torno a dos partes bien diferenciadas que, a su vez, están íntimamente relacionadas con el fin de conseguir un buen trabajo: Una de trabajo de campo y otra de trabajo de gabinete.





Ambas labores, y ante un caso práctico en el que se pretende documentar (figura 253) la sucesión de actividades realizadas en el yacimiento en fase de ejecución, se determina que las labores de catalogación general de excavación se van a distribuir en cuatro partes:

- La primera de ellas antes de realizar ninguna intervención sobre el terreno. Con ello conseguiremos definir métrica, gráfica y formalmente el entorno en su estado natural.

- La segunda en una etapa intermedia en la que se haya realizado la limpieza de tierras más superficiales, eliminado la vegetación y acondicionado el terreno con canales de evacuación pluvial para protegerlo de posibles precipitaciones inesperadas.

- Una tercera en la que da por concluida la intervención y se haya alcanzado la cota de excavación prevista o considerada como adecuada ante los trabajos de inspección.

- Una etapa final en la que se realiza un levantamiento sobre la zona previamente consolidada, facultada de puntos de drenaje para evitar la acumulación de aguas y tapada bajo lonas geotextiles cubiertas de gravas

Figura 253. Búsqueda de referencias y documentación fotográfica del proceso. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

que facilitan el drenaje y, a su vez, bajo tierras limpias del entorno (figura 254). Ante la falta de medios económicos se decide optar por esta medida.

Mientras, las tareas de catalogación particulares recogen:



Figura 254. Limpieza y desbroce de la cuadrícula objeto de la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

- Inventariado gráfico y fotográfico de posibles artefactos u objetos descubiertos.
- Control documental (figura 255) de peculiaridades encontradas durante la excavación.
- Estudio de la influencia de los movimientos de tierras en el entorno más inmediato a la excavación y estudio de posibilidades viables de evacuación de las mismas.
- Levantamiento de ortofotografías de alzados, plantas y secciones de la

excavación así como confección de modelos tridimensionales anexos a estas, en su tercera etapa (excavación concluida), que documenten su estado y permitan continuar las investigaciones con posteridad al tapado.



Figura 255. Puesta a punto del dron antes de comenzar el vuelo fotogramétrico. Fuente: Autor.

#### a. Trabajo de campo

Es aquí donde obtendremos las fotografías de la excavación y su entorno más cercano y donde recopilaremos los datos de levantamiento in-situ necesarios para el posterior escalado del modelo generado. Previo al comienzo de estas labores se ha definido una estrategia para la correcta toma fotográfica de acuerdo a lo estipulado en la memoria de proyecto de excavación y a aquella documentación que, posteriormente, queremos recoger y plasmar en el seguimiento y el dossier de la intervención realizada.

Para esta consecución fotográfica se realiza un barrido por toda la superficie de actuación identificando, definiendo y localizando los elementos a inventariar (figuras 256, 257 y 258) y controlar recogidos en proyecto en torno a la cuadrícula número 648 (figura 259) obtenida en la primera fase de excavación sobre el yacimiento de Bolvax. Asimismo, y dado que trabajamos bajo tolerancias de proyecto, conocemos los niveles de detalle necesarios para reproducir la morfología del objeto.

Ante la necesidad de referencias métricas del software fotogramétrico para dar información dimensional y escalar y orientar el modelo, se recurre a instrumentación topográfica clásica que mida, in-situ, distancias entre puntos identificados de la excavación. Para ello se recurre, por un lado, a una estación total (figura 260) que dota de mayor precisión al conjunto general del levantamiento y, por otro, a una cinta métrica para aquellos detalles, alzados particulares o descubrimientos arqueológicos producto de la excavación.

Por tanto, y según la descripción metodológica de investigación propuesta en la etapa 02 del apartado 3.2. de esta tesis, una buena actuación en torno a un buen proyecto fotográfico en fase de campo conlleva:

- Estudio del lugar. Se realiza una inspección visual inicial del terreno donde se va a excavar teniendo en cuenta, dado el carácter particular del ejemplo propuesto, que nos encontramos en un entorno de pendientes acusadas por lo que no es viable el empleo sistemático de trípode, que la iluminación es natural y ha de tenerse en cuenta antes de cada una de las visitas, que no existe tráfico peatonal o rodado cercano y que los obstáculos sólo estarán presentes en una primera toma de contacto pues, poste-

Figura 256 (superior izquierda). Artefacto arrojadizo hallado durante la excavación. Fuente: Autor. Bolvax, Cieza (Murcia).

Figura 257 (superior central). Limpieza y junteo de refuerzo previo a la elaboración de croquis de campo para apoyo a la documentación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 258 (superior derecha). Cribado de tierras extraídas por desmonte. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

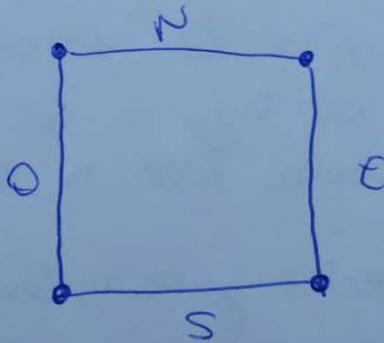
Figura 259 (inferior). Croquis detallado de cuadrícula de actuación con coordenadas XYZ por vértice. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.



El cuadrado.

Los datos que hemos sacado y las cotas de las partes de los cuadrados son los siguientes.

x : 638.850  
 y : 4.231.705  
 z : 203'248



x : 638.860  
 y : 4.231.705  
 z : 207'662

x : 638.850  
 y : 4.231.695  
 z : 201'332

x : 638.860  
 y : 4.231.695  
 z : 205'840

riormente y a través de las labores de desbroce y limpieza desaparecerán.

- Documentación de apoyo. Dibujar un croquis general donde quede representada la orientación y las cotas principales. Asimismo, se realiza una



Figura 260. Proceso de levantamiento desde primera etapa de excavación con estación total para definición de vértices de la cuadrícula de excavación de la segunda etapa. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

toma fotográfica, no con intención fotogramétrica, pero que si facilita la percepción del entorno con respecto a la excavación.

- Puesta a punto del equipo fotográfico y toma de datos tanto del modelo de cámara empleado como de las especificaciones en ella establecidas en el momento de la captura (objetivo, formato de imagen, etc.).

- Elaboración de proyecto de estacionamiento y captura fotográfica. Se determina la mejor relación de distancias entre puntos de estación y/o captura así como mantener una referencia de solapes en todo el proceso. Se comienza en el lateral norte y se va desarrollando la toma fotográfica hacia la derecha (sur) atendiendo a que no queden zonas sombreadas a

las que se hizo referencia en el apartado 3.2.4.

- Comprobar todo el trabajo realizado antes de abandonar el lugar.



En este proceso de trabajo distinguimos dos formas de trabajo que, aun formando parte de la fotogrametría y manteniendo los principios que acabamos de reseñar, presentan un carácter diferenciador:

a.1. Fotogrametría aérea.

La toma de fotografías se realiza con el mismo dron al que se hace referencia tanto en el capítulo anterior cuyo modelo y especificaciones exactas quedan recogidas en el apartado 3.1.1.1. epígrafe “b” de esta tesis doctoral.

La fotogrametría aérea se realiza con la cámara incorporada en este dron y que cuenta con sensor 1/2.3” CMOS, con 12,4 píxeles efectivos con un campo de visión equivalente a 35 mm, f/2.8 y velocidad del obturador de 8s - 1/8000s.y cuyas especificaciones y medios auxiliares (tableta) han quedado definidas en el capítulo 4.2.4.4. epígrafe a.1 de esta tesis.

Las posibilidades de vuelo en torno al yacimiento están otorgadas por contar el operador de dron, autor de la presente tesis, con el curso de pilotaje de aeronaves dirigidas por control remoto de nivel básico y de nivel avanzado en un Centro de Estudios verificado y acreditado por Agencia Estatal de Seguridad Aérea.

El número, altura, tiempos de vuelos y cantidad de fotografías varía en cada una de las intervenciones a las que ya se ha hecho referencia, quedando desglosado de la siguiente forma:

Nº de fotografías	Tiempos	Altura de vuelo (respecto despegue)	Baterías empleadas
-------------------	---------	-------------------------------------	--------------------

Terreno natural	114	37 minutos	30 metros	2
Previa a excavación	53	17 minutos	30 metros	1
Final de excavación	68	19 minutos	30 metros	1
Tapado / Protección	85	21 minutos	30 metros	1

Tabla 022. Tabla resumen fases de vuelo, número de fotografías, tiempo, altura máxima alcanzada y baterías consumidas durante el trabajo fotogramétrico. Fuente: Autor.

El vuelo, a diferencia del realizado para la captura de la ortofoto general en fase de documentación y proyecto (no objeto de esta fase de ejecución, figura 261) se realizó de forma manual y sin previa georreferenciación a través de puntos estables en terreno determinados por un equipo topográfico GPS<sup>64</sup>, previa calibración del dron para la captación de señal GPS, con una altura de vuelo fija (figura 262) con respecto al punto de despegue de 30 metros y sin georreferenciación del vuelo. La precisión del vuelo planificado para cada una de las actuaciones es la que sigue:

Solape entre fotografías	80% frontal y 70% lateral
Distancia entre fotografías	8 metros
Resolución espacial	3,6 cm/pixel
Distancia entre calles del plan de vuelo	Aproximadamente 15 metros
Altura de vuelo (respecto punto de partida)	30 metros

Tabla 023. Datos de vuelo. Planificación del trabajo de levantamiento por fotogrametría aérea. Fuente: Autor.

Las condiciones meteorológicas se estudiaban con anterioridad a cada una de las visitas, evitando así aquellos días en los que la velocidad del viento fuera superior a 6 m/seg. Podemos afirmar que los vuelos se realizaron en condiciones óptimas, quedando las tareas suspendidas en caso de lluvia y/o viento superior al arriba mencionado, pues habrían originado un vuelo de baja calidad y medidas de seguridad nulas.

<sup>64</sup> GPS de doble frecuencia tipo RTK y coordenadas almacenadas en el sistema ETRS89 30N.



Figura 261. Dron antes del despegue para la elaboración del vuelo general. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

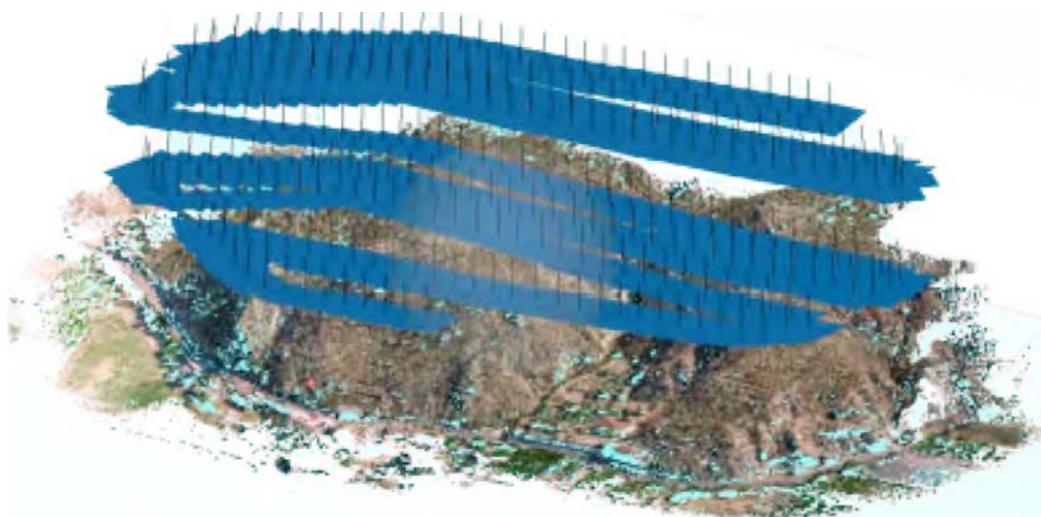


Figura 262. Modelo tridimensional generado por fotogrametría y localización y orientación de tomas fotográficas (cuadrícula azul). Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

Dado que, en términos generales, los pasos para llegar a un modelo tridimensional serán los mismos que los en la fotogrametría terrestre y que un mismo pixel ha de presentarse en dos o tres imágenes para viabilizar su ubicación espacial, se realiza, en cada una de las visitas, recubrimiento de imágenes. Determinada la altura de vuelo, su velocidad (siempre se realizó a una velocidad estable de 1.5 m/seg. evitando así la trepidación) y el solape deseado, el tiempo entre capturas continuas se presenta en torno a cada 2 ó 3 segundos.

#### a.2. Fotogrametría terrestre.

Este método de trabajo, con captura fotográfica a nivel del suelo y para esta excavación concreta, se realiza en aquellos casos en los que, por motivos específicos y puntuales se requiera de una documentación gráfica y métrica en detalle de algunas zonas de la excavación o de hallazgos de restos con valor arqueológico durante las etapas de ejecución 2, 3 y 4 (superficie desbrozada, excavación ejecutada y excavación protegida). En este caso la toma de fotografías se realiza con la cámara de referencia empleada en toda la investigación, Sony Nex-5 CMOS APS-C de 14 Megapíxeles en ISO 200, enfoque automático y objetivo con distancia focal fija a 18 mm.

La documentación fotogramétrica derivada de esta intervención tiene, por tanto, un carácter de archivo integral con el que se obtienen representaciones gráficas cuidadas, precisas y útiles (figura 263) tanto para la elaboración del dossier final de intervención como para la fase de trabajo siguiente (04 de uso o musealización) puesto que el grado de análisis, investigación o difusión puede ampliarse para determinados ámbitos o elementos que despierten especial interés en circunstancias futuras, permitiendo efectuar confirmaciones posteriores o generar documentación nueva incluso cuando el elemento o zona ya no sea accesible.

El número capturas y tiempos de trabajo empleados para las tomas fotográficas en cada una de las visitas varía en cada una de las intervenciones a las que se hizo referencia en párrafos anteriores y queda desglosado de la siguiente forma:

Figura 263 (derecha). Ortofotografía general del entorno de la excavación generado por fotogrametría. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.



Etapa	Nº de fotografías	Tiempos
Terreno natural	-	-
Previa a excavación	109	20 minutos 2 segundos
Final de excavación	89	17 minutos 12 segundos
Tapado	45	9 minutos 7 segundos

Tabla 024. Tabla resumen por zonas de trabajo con sus respectivos rendimientos fotográficos y temporales. Información detallada obtenida de la libreta de campo y contrastada con los metadatos de las imágenes. Fuente: Autor.

La posibilidad de desplazamiento a pie por la excavación en las tres últimas actividades simplifica la captura fotográfica y permite documentar (figura 264) sin mayor problema aquellas partes o peculiaridades de interés sin necesidad de recurrir a elementos auxiliares de apoyo, amplificación o plataforma.

Para el alzado general del conjunto de la excavación, barriendo fotográficamente de izquierda a derecha del alzado, se efectúa una estimación de estaciones equidistantes cada metro y una distancia entre lugar de captura y objeto a documentar de 5 metros con lo que, siguiendo lo estipulado como ordenación óptima del apartado 3.2.4. de esta misma tesis, guardamos una relación adecuada de distancias del 20%. Además, y dado que no es necesario el cabeceo de de la cámara para contemplar, en altura, todo el paño, se pudo contemplar todo el recorrido con un único trazado.

Toda la documentación generada sirve de apoyo a la elaboración del dossier final de excavación documentando hallazgos (figura 265 y 266) como las estancias exteriores a la muralla Republicana Romana de opus caementicium, el patrón de estructuras habitacionales aterrazadas, construidas con piedra y tierra en sus zócalos y los alzados de adobe adaptados al terreno entre otros (figura 267).

#### b. Trabajo de gabinete

Es en esta etapa donde, empleando la documentación gráfica, documental y fotográfica recopilada en campo, y a través del software escogido para emplear

la fotogrametría, Agisoft PhotoScan, y, posteriormente CloudCompare de Hogfather y AutoCAD de Autodesk determinaremos volúmenes de tierras desplazados y obtendremos la representación ortogonal lineal de los alzados, secciones y plantas necesarios para reconstruir la historia del yacimiento acometido e inventariado facilitando, a posteriori, su musealización, difusión, reconocimiento y valorización.

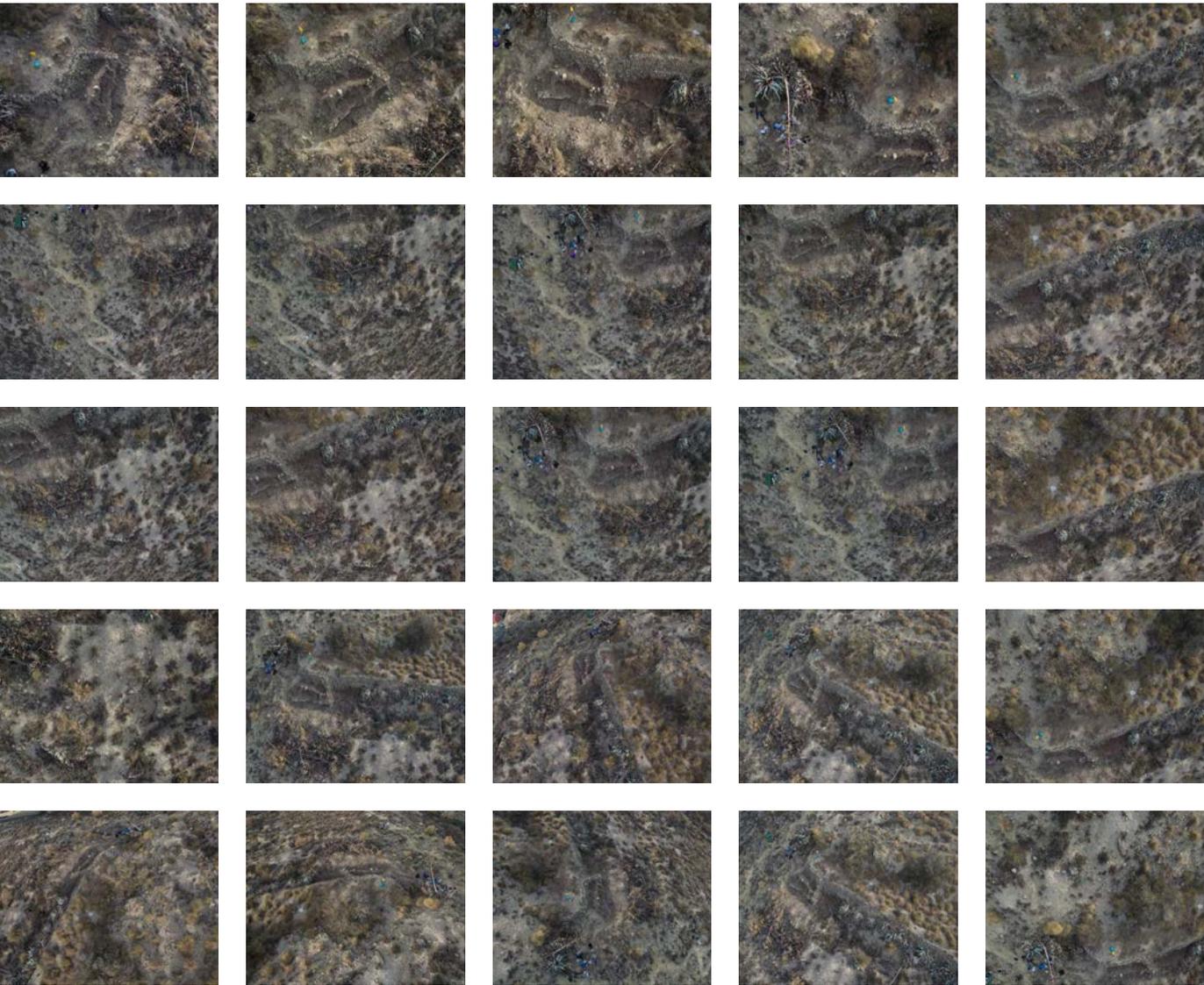


Figura 264. Collage con parte del reportaje fotográfico extenso realizado para la documentación fotogramétrica del yacimiento. Segunda fase de excavación del yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Las fotografías realizadas, tanto para la fotogrametría aérea como terrestre, son empleadas indistintamente y, como se explicó con anterioridad, requieren que aparezcan ciertas características expresas para facultar su relación. A partir de esta primera información, el software deduce la orientación y ubicación espacial de las cámaras con relación al cuerpo o entorno. En aquellos casos en los que, derivado del cálculo previo de coordenadas (bien en la fase previa de ortofoto general o por coordenadas relativas generadas por dron) la localización de los puntos específicos del objeto registrado quedará en su respectiva posición  $(x,y,z)$  y será posible, directamente, obtener resultados dimensionales a escala.

A continuación, y haciendo uso de las herramientas de PhotoScan, ejecutamos secuencialmente los pasos descritos en el apartado de procedimientos relativos a la construcción de modelos 3D basado en técnicas de fotogrametría digital.

Figura 265 (derecha superior). Cribado de las tierras extraídas en fase de extracción. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 266 (derecha central). Visitas guiadas realizadas durante la etapa de excavación para concienciar y difundir a la sociedad de la importancia de la excavación y restos hallados. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 267 (inferior). Tapado y protección de los restos excavados una vez finalizada la ejecución de la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.





Este trabajo deriva en (tabla 025):

Actividad		Requerimiento			
		Terreno natural	Previa a excavación	Final de excavación	Tapado / Protección
Nº de fotografías	Terrestre	-	109	89	45
	Aérea	114	53	68	85
Nube dispersa	Terrestre	-	12.351	8.930	11.233
	Aérea	40.697	35.066	163.743	62.075
Nube densa	Terrestre	-	22.033.570	17.054.840	20.220.443
	Aérea	9.653.456	11.757.798	13.345.862	9.888.524
Malla poligonal	Terrestre	-	4.406.712	3.030.294	3.590.834
	Aérea	1.930.697	22.000.000	21.949.311	1.977.689
Texturizado	Terrestre	-	Si	Si	Si
	Aérea	Si	Si	Si	Si
Tiempo de procesado			5 horas	4 horas	4 horas
	Terrestre	-	15 min.	23 min.	46 min.
			47 seg.	12 seg.	8 seg.
		3 horas	4 horas	2 horas	1 hora
	Aérea	30 min.	39 min.	7 min.	32 min.
		34 seg.	26 seg.	56 seg.	47 seg.
Uso de máscaras	Terrestre	-	No	No	No
	Aérea	No	No	No	No

Tabla 025. Tabla resumen por zonas de actuación fotogramétrica. Fuente: Autor.

Gracias a la rugosidad de los materiales de composición de la excavación, a las condiciones lumínicas del entorno en los momentos en que se decide reali-

Figura 268 (derecha). Trabajo de gabinete para selección y documentación de hallazgos en el yacimiento. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.



zar las fotografías y a las distancias, tiempos y parámetros fotográficos idóneos, podemos poner en evidencia la relativa sencillez con la que se acomete y obtiene documentación gráfica y de virtualización potencial para el modelado de objetos, estructuras o detalles bi o tridimensionales.

#### 4.3.3.5. Resultados: documentación, adecuación y optimización

Tomando como referencia los requerimientos de, por ejemplo, la Junta de Andalucía en torno al Reglamento de Actividades Arqueológicas de la Consejería de Cultura a 17 de junio en su Decreto 168/2003 y en desarrollo de la Ley 1/1991 de 3 de julio para el Patrimonio Histórico de Andalucía se dispone, en su título III dedicado a los procedimientos administrativos, las especificaciones, memorias, informes y actas que, durante del desarrollo de la actividad, han de tenerse en cuenta y entregarse una vez finalizada la actividad arqueológica autorizada, diciendo que:

“...se han detallado los contenidos de las memorias preliminares, memorias anuales y memoria final a entregar, una vez concluida la actividad, por ser las piezas clave en el proceso de tutela y control de las actividades arqueológicas.”

Además, en su artículo 36, establece la obligatoriedad de redacción de esta Memoria Final de Proyecto General de Investigación para Excavaciones Arqueológicas.

Se escoge este Reglamento como referencia pues, en el ámbito de la Región de Murcia, no queda especificado un método de actuación definido y con requisitos claros en materia documental en fase de ejecución en intervenciones sobre el patrimonio.

Los resultados obtenidos durante esta fase, así como de trabajos previos, de resultados, interpretación, planimetría (figura 269), fichas de unidades estratigráficas, repertorio fotográfico, inventario de materiales, trabajos de gabinete, etc. se han de plasmar en una memoria de excavación que recogerá todos los datos aparecidos en el transcurso de los trabajos y las conclusiones que de ellos se derivan en torno a una documentación gráfica (tabla 026) que atiende al siguiente esquema

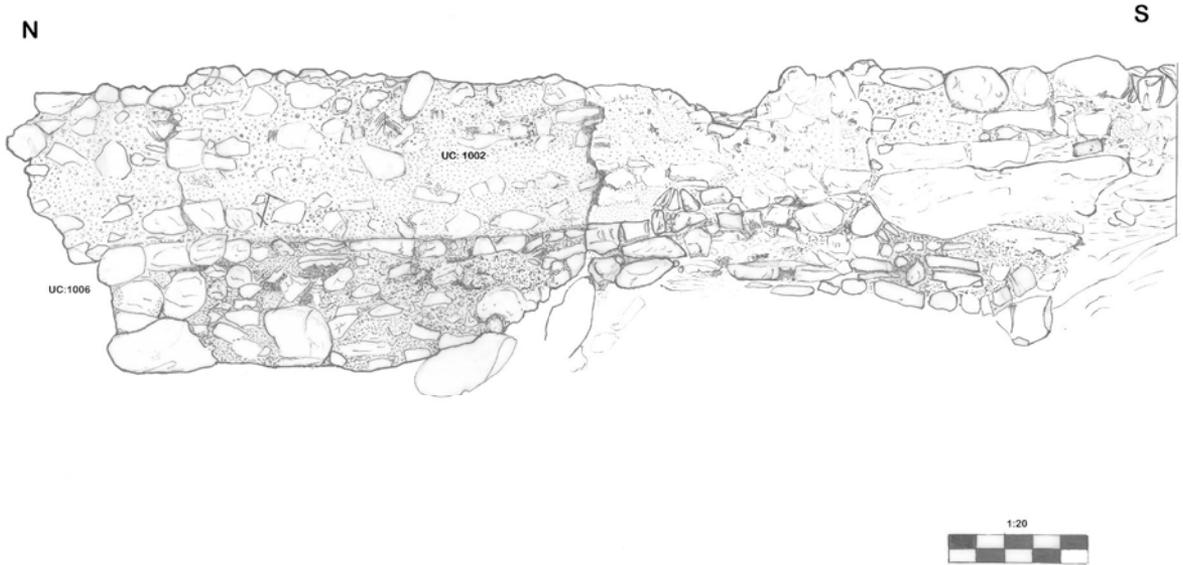


Figura 269. Trabajo de croquizado por método tradicional. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

(columna izquierda) y la siguiente documentación gráfica vinculada (columna derecha):

Documentación gráfica exigible	Documentación gráfica vinculada
Introducción del Proyecto	Situación de la Intervención
Metodología y límites de intervención	Área de excavación y superficies
Objetivos de la intervención	Estado previo
Análisis estratigráfico murario	Planimetría general
Excavación arqueológica	Documentación detallada de técnicas constructivas identificadas
Seguimiento y control de movimiento de tierras	Fases cronológicas
Estudio de hallazgos	Área y zonas pendientes de excavación
Conclusiones de la intervención arqueológica	Mapas de ubicación de catas
Bibliografía	Informe fotográfico

## Anexos

Estratigrafía en el seguimiento y control de movimiento de tierras  
Plano situación de sondeos  
o prospecciones

Tabla 026. Documentación gráfica exigible a intervenciones en fase de ejecución. Fuente: Realizada por el autor de acuerdo con el al Reglamento de Actividades Arqueológicas de la Consejería de Cultura a 17 de junio en su Decreto 168/2003 y en desarrollo de la Ley 1/1991 de 3 de julio para el Patrimonio Histórico de Andalucía.

Así, y dando respuesta a la documentación gráfica vinculada al mínimo exigible en esta fase tendremos, empleando la fotogrametría digital y el protocolo de actuación descrito en el capítulo 3, estos resultados:

- Situación de la intervención (figuras 270, 271 y 272)



- Las coordenadas de la base marcada en la piedra de la muralla (UTM) son:  
X= 638872.92    Y= 4231726.19  
(Uso 30-ETRS89).
- La Orientación a la aguja de la torre de la Iglesia (Asunción) es: 356,5352g)
- La cuadrícula actual esta girada hacia la izquierda del NG (35,55g).
- La cuadrícula propuesta esta dispuesta al NG y con separacion de 10 mts. entre lineas.

Figura 270. Alzado orientación sureste del plano de situación de la intervención obtenido por fotogrametría aérea. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

Figura 271. Tabla informativa que sirve de base orientadora para la cuadrícula de apoyo a la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

Figura 272. Planta general de Bolvax bajo cuadrícula de trabajo georreferenciada. Generada empleando la fotogrametría digital aérea. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

5139

638800

638850

638900

638950

639000

639050

639100

4231905

4231855

4231805

4231755

4231705

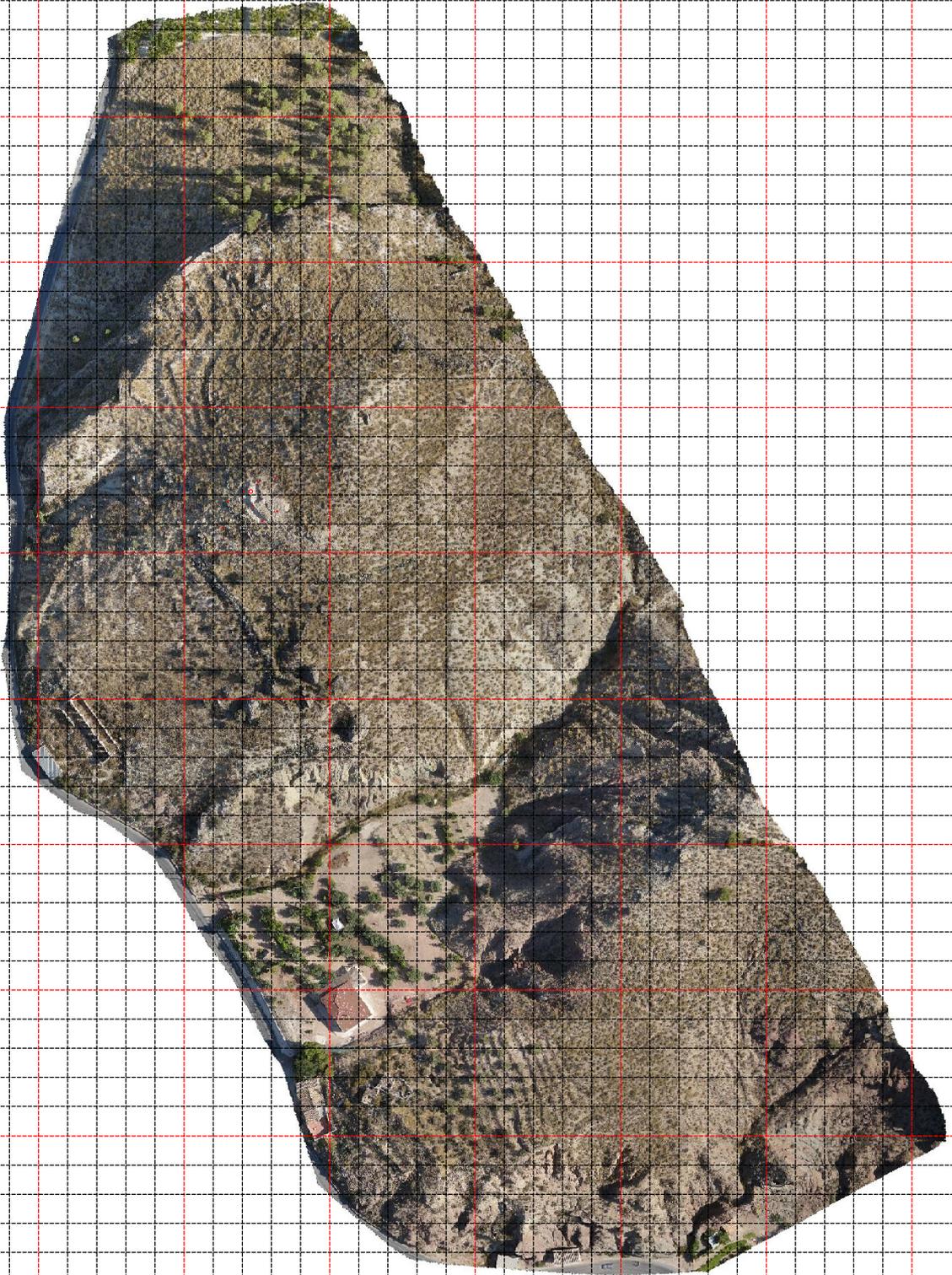
4231654,79

4231604,79

4231554,79

4231504,57

4231454,57



- Área de excavación y superficies (figura 273)



Noroeste:

$X = 638,850; Y = 4.231,705; Z = 203,248$

Noreste:

$X = 638,860; Y = 4.231,705; Z = 207,662$

Suroeste:

$X = 638,850; Y = 4.231,695; Z = 201,332$

Sueste:

$X = 638,860; Y = 4.231,695; Z = 205,840$

Figura 273. Localización del área de excavación y cuadrícula de superficie conocida entre vértices de coordenadas obtenidas por métodos de topografía clásica sobre planimetría obtenida con fotogrametría digital. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

- Estado previo (figuras 274 - 277)

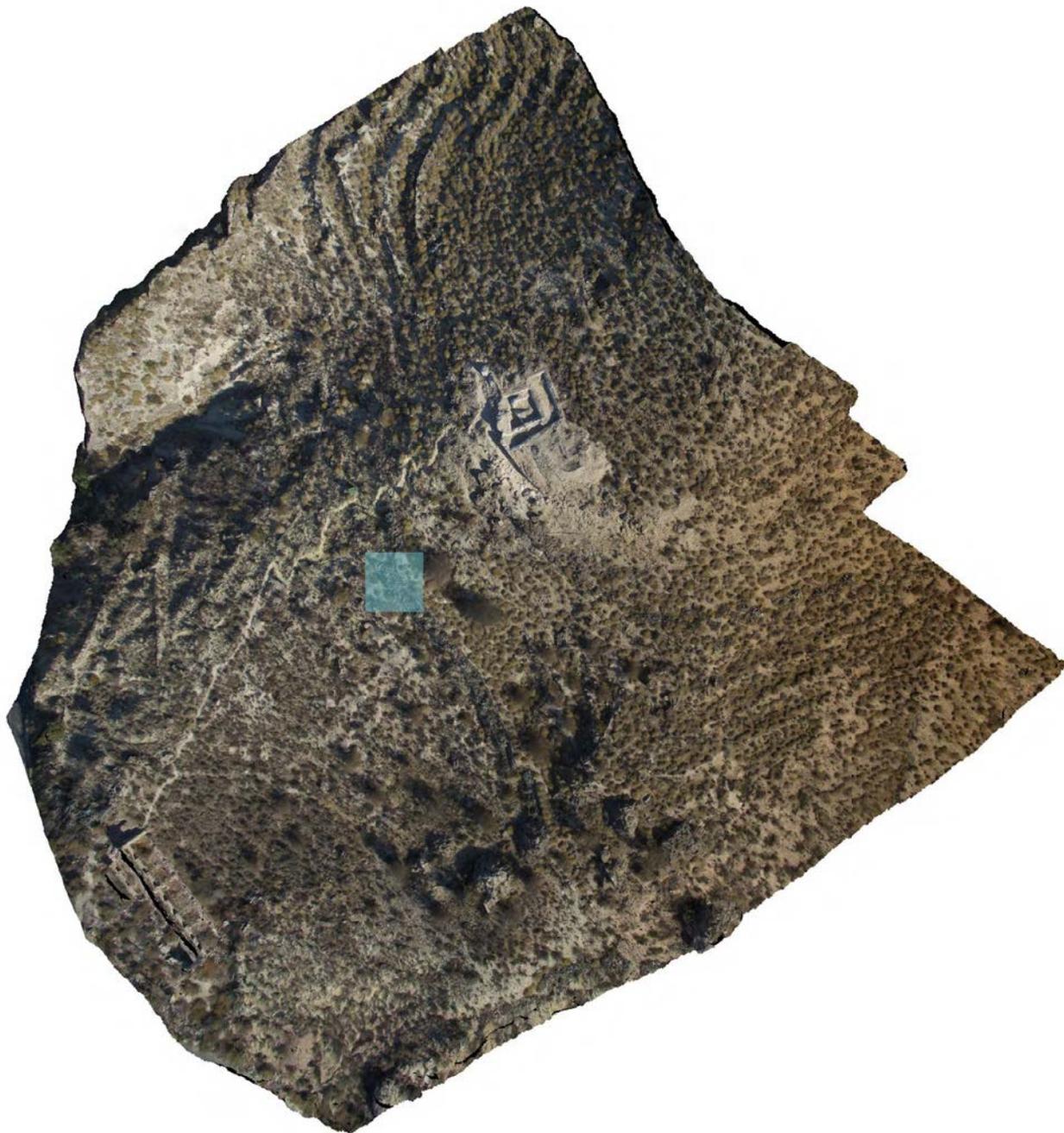
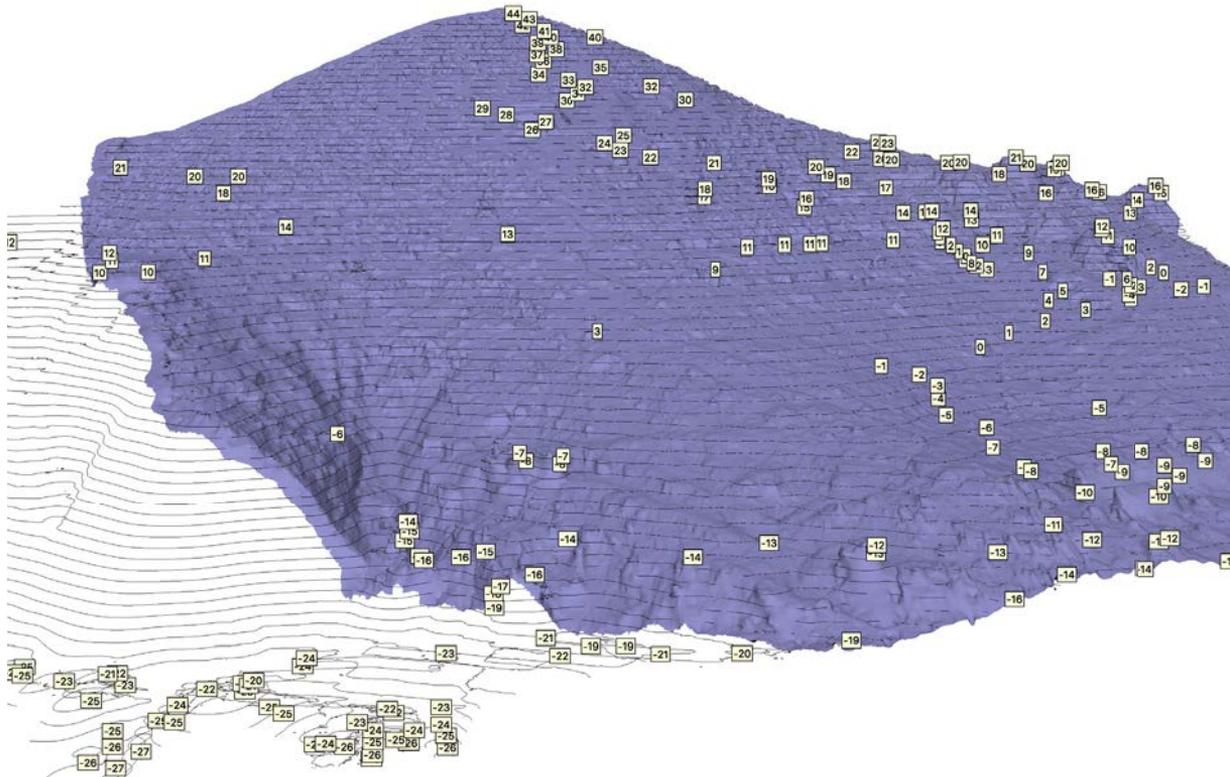
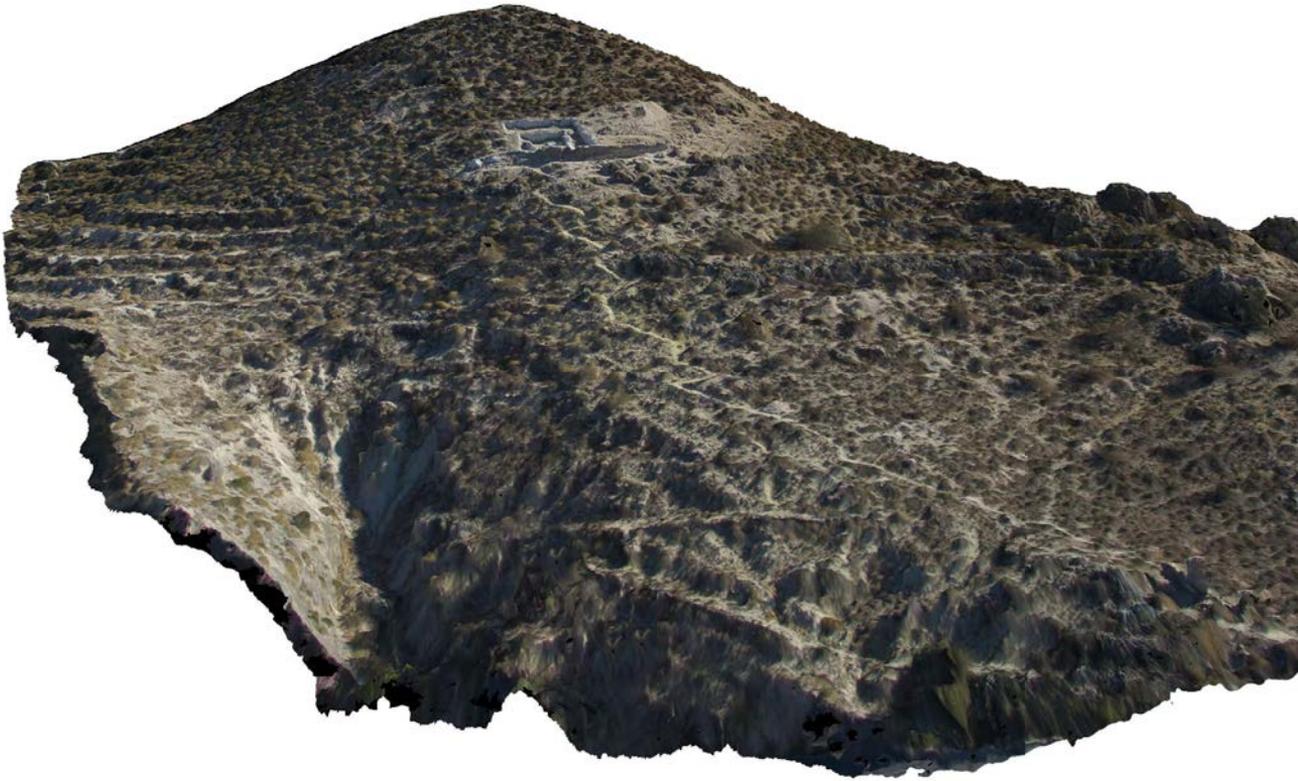


Figura 274. Detalle de la ladera de intervención en la que se encuentran la primera (ya protegida) y segunda (en estado natural y señalada bajo sombreado) fase de excavación arqueológica. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



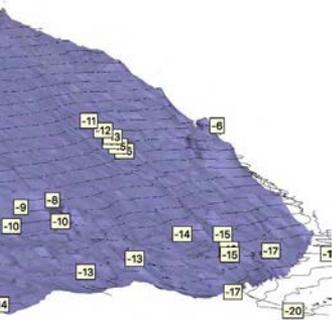
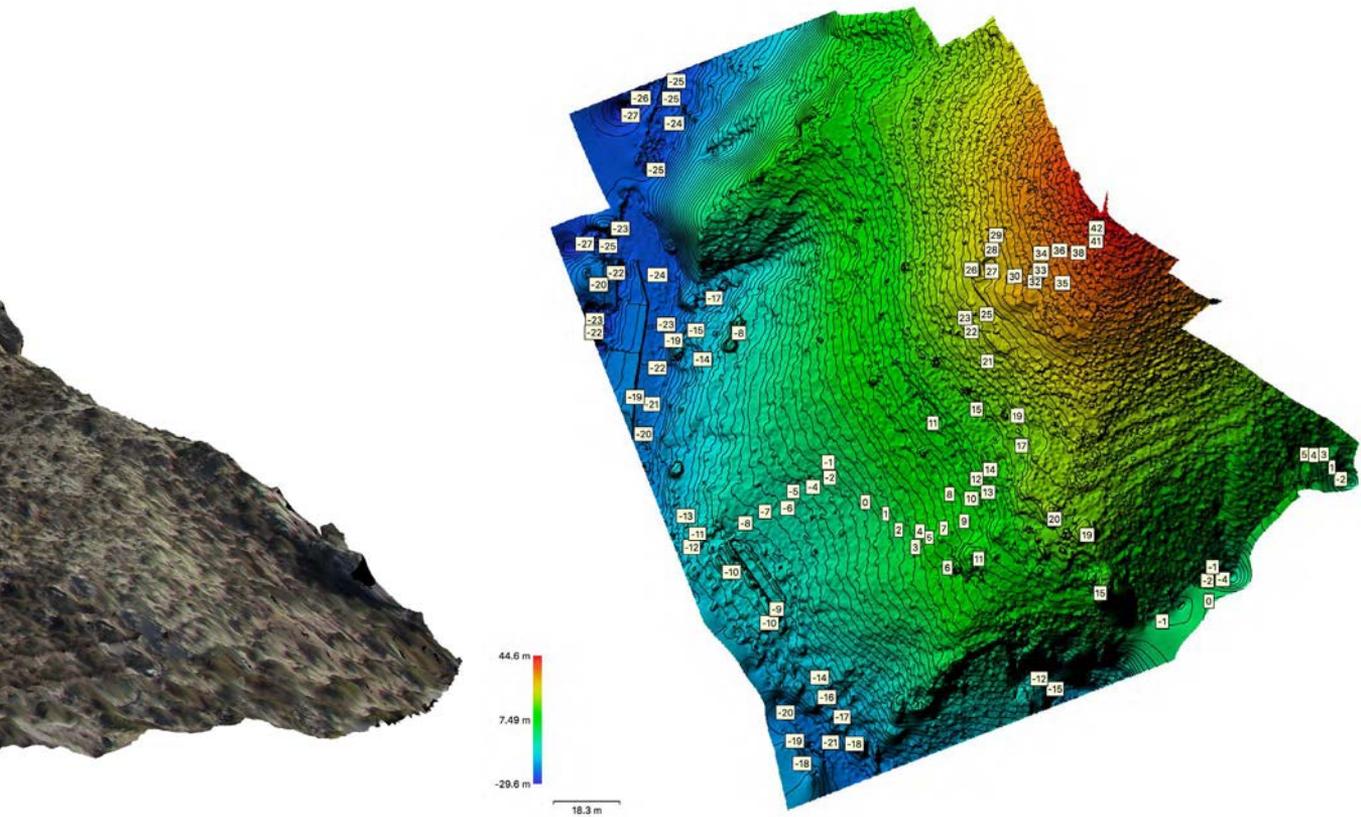


Figura 275 (superior izquierda). Perspectiva sobre modelo tridimensional en la que se ubica la excavación arqueológica. Generado con fotogrametría digital. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 276 (superior derecha). Planimetría generada con fotogrametría. Modelo digital del terreno o de elevaciones. Orografía del terreno natural acotado por curvas de nivel de coordenadas relativas. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 277 (inferior izquierda). Malla tridimensional generada con PhotoScan con curvas de nivel de coordenadas relativas sobre el terreno natural. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

- Mapas de ubicación de catas (figura 278)

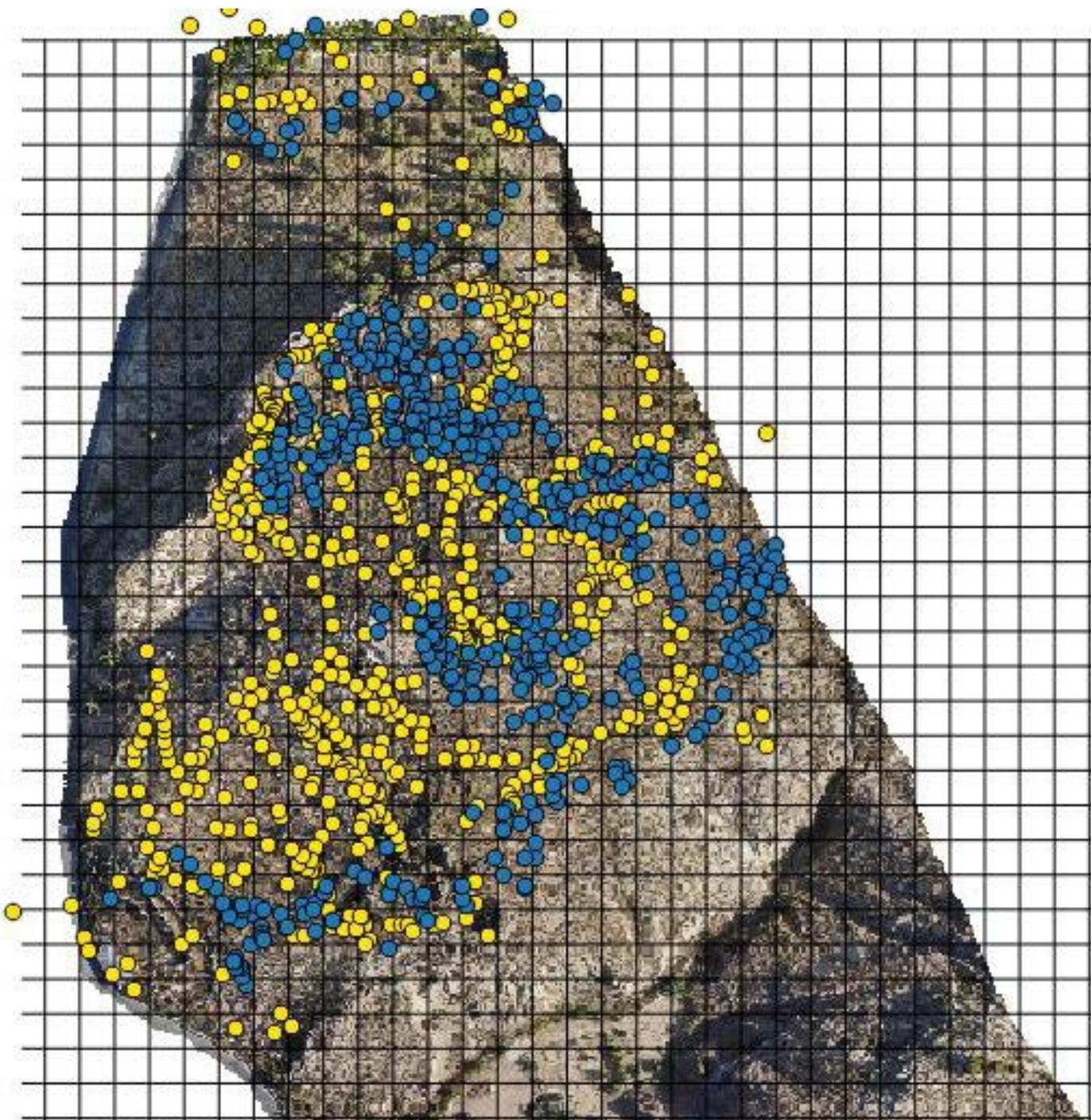


Figura 278. Ortofotografía fotogramétrica bajo cuadrícula georreferenciada y ubicación de puntos de cata y prospección. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

- Informe fotográfico (figura 279)



Figura 279. Collage con parte del reportaje fotográfico intensivo realizado para la documentación fotogramétrica del bien patrimonial. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

- Fases cronológicas (figuras 280 - 291)



Figura 280 (superior). Perspectiva tridimensional sobre modelo de terreno fotorrealístico generado con fotogrametría digital. Primera fase cronológica de excavación: Terreno en estado natural. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 281 (inferior). Perspectiva tridimensional sobre modelo de terreno fotorrealístico generado con fotogrametría digital. Segunda fase cronológica de excavación: Inicio de la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

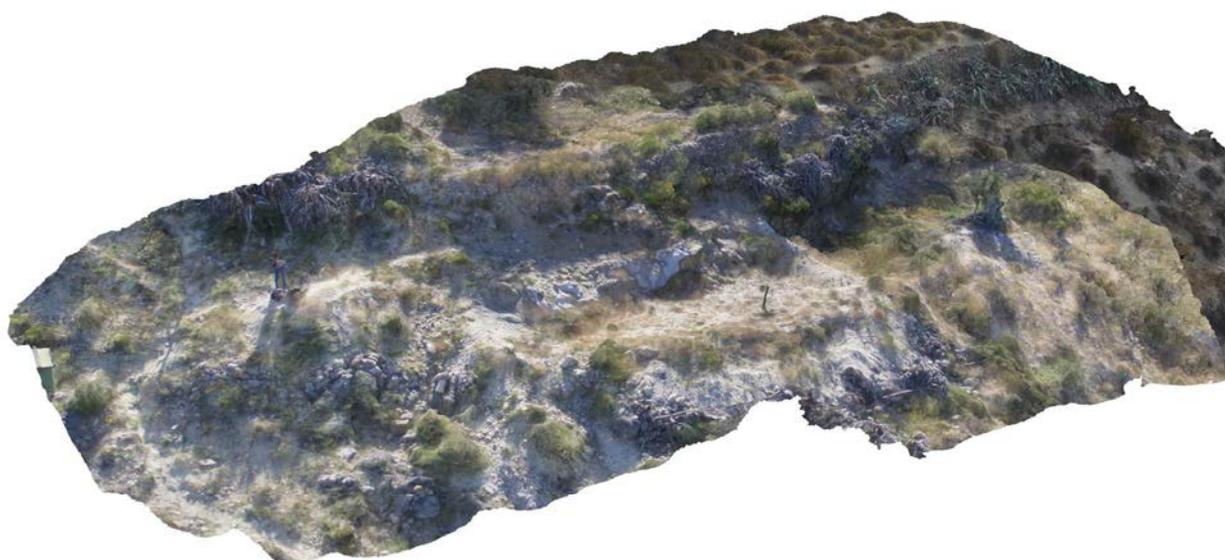


Figura 282 (superior). Perspectiva tridimensional sobre modelo de terreno fotorrealístico generado con fotogrametría digital. Tercera fase cronológica de excavación: Final de las tareas de excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 283 (inferior). Perspectiva tridimensional sobre modelo de terreno fotorrealístico generado con fotogrametría digital. Cuarta fase cronológica de excavación: Yacimientos protegidos. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 284 (superior). Perspectiva tridimensional en detalle sobre modelo de terreno fotorealístico generado con fotogrametría digital. Primera fase cronológica de excavación: Terreno en estado natural. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 285 (inferior). Perspectiva tridimensional en detalle sobre modelo de terreno fotorealístico generado con fotogrametría digital. Segunda fase cronológica de excavación: Inicio de la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 286 (superior). Perspectiva tridimensional en detalle sobre modelo de terreno fotorealístico generado con fotogrametría digital. Tercera fase cronológica de excavación: Final de las tareas de excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 287 (inferior). Perspectiva tridimensional en detalle sobre modelo de terreno fotorealístico generado con fotogrametría digital. Cuarta fase cronológica de excavación: Yacimientos protegidos. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 288 (superior). Ortofotografía con valor métrico generada con fotogrametría digital. Primera fase cronológica de excavación: Terreno en estado natural. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 289 (inferior). Ortofotografía con valor métrico generada con fotogrametría digital. Segunda fase cronológica de excavación: Inicio de la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



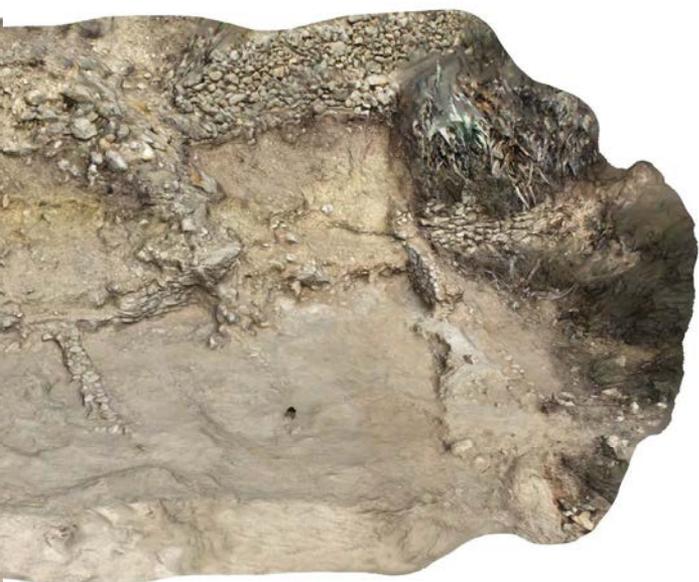
Figura 290 (superior). Ortofotografía con valor métrico generada con fotogrametría digital. Tercera fase cronológica de excavación: Final de las tareas de excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 291 (inferior). Ortofotografía con valor métrico generada con fotogrametría digital. Cuarta fase cronológica de excavación: Yacimientos protegidos. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

- Planimetría general (figura 292)



Figura 292. Proyección ortográfica con valor métrico generada con fotogrametría digital. Vistas en perspectiva (central), alzado (superior), lateral (izquierda y derecha) y planta (inferior). Tercera fase cronológica de excavación: Final de las tareas de excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



- Documentación detallada de técnicas constructivas identificadas (figura 293)



Figura 293 (izquierda). Collage con identificación de muros, derrumbes, adobes, pavimento de tierra apisonada y perfiles de excavación. Modelos 3D con validez métrica y acabado fotorrealístico para obtención de proyecciones ortográficas, secciones e inspección en tiempo real. Tercera fase cronológica de excavación: Final de las tareas de excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

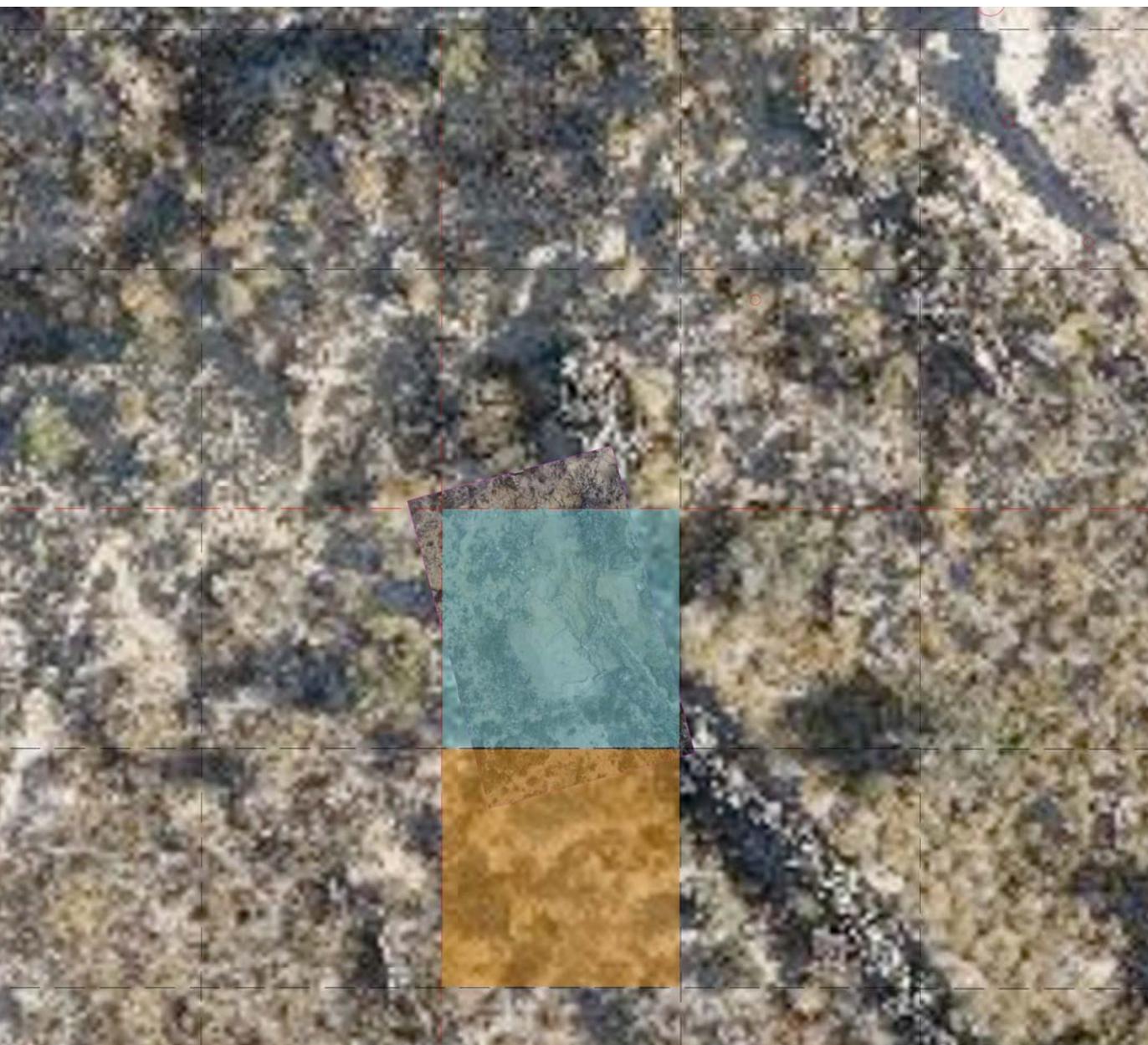


Figura 294. Localización sobre ortofotografía fotogramétrica que delimita el área de excavación (azul) y las zonas pendientes de excavar en futuras campañas (naranja). Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

## - Estratigrafía en el seguimiento y control de movimiento de tierras (figuras 295 - 301)

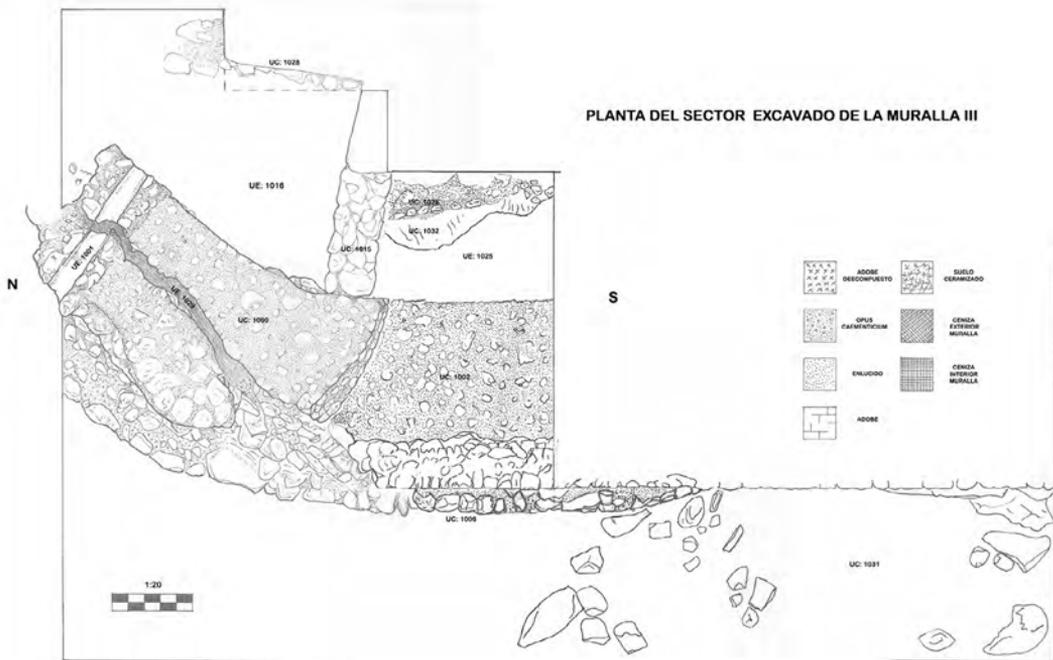


Figura 295. Comparativa de resultados estratigráficos en croquis de trabajo realizado en campo por metodología tradicional. Bolvax, 1ª fase, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 296. Comparativa de resultados estratigráficos planimetría fotogramétrica obtenida en campo con vuelo dron y ordenador portátil. Bolvax, 1ª fase, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

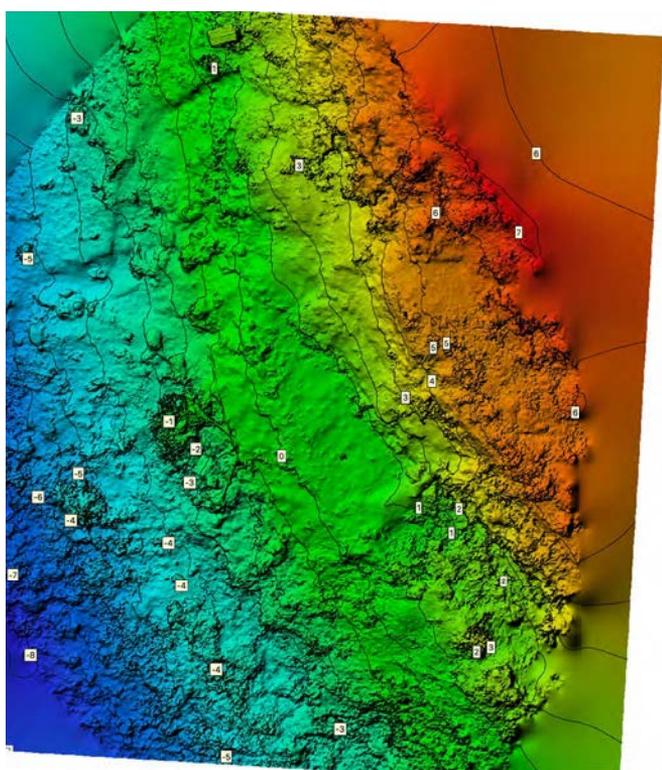
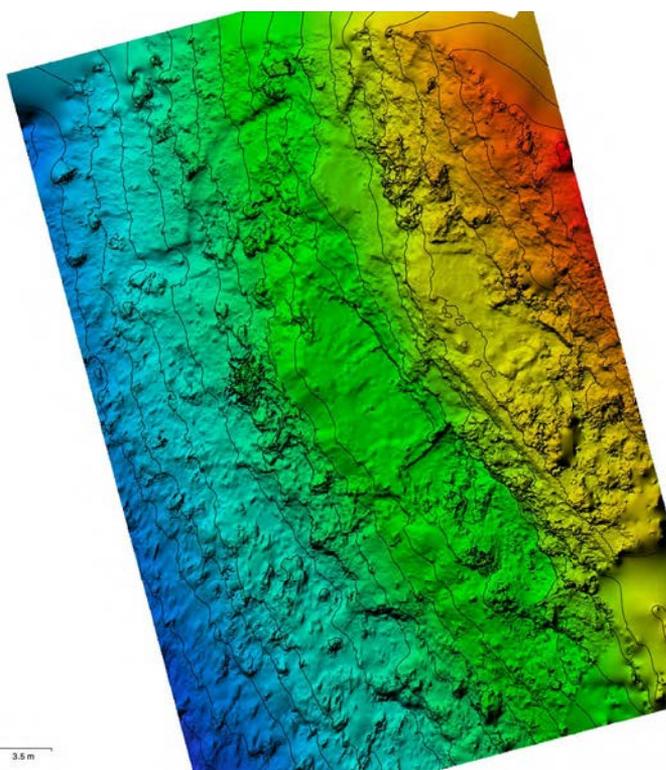
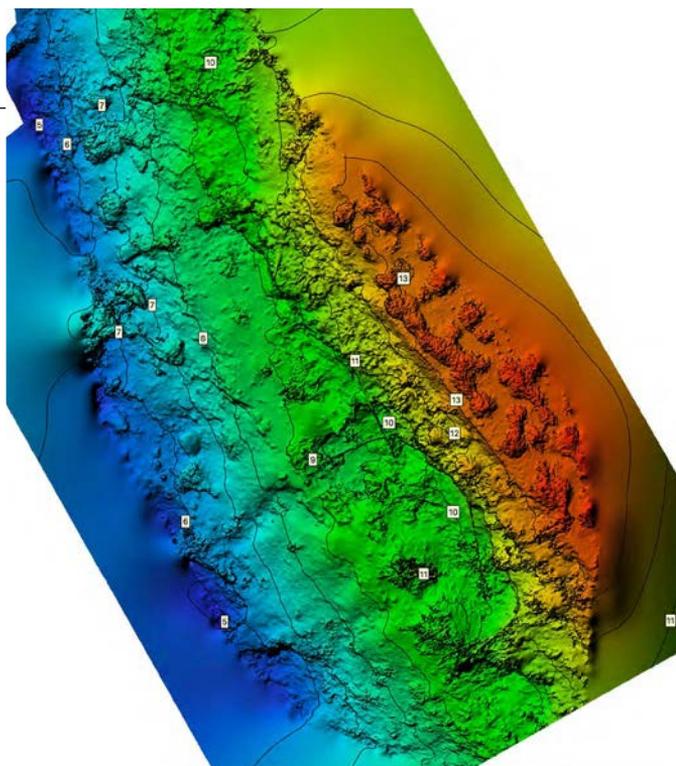
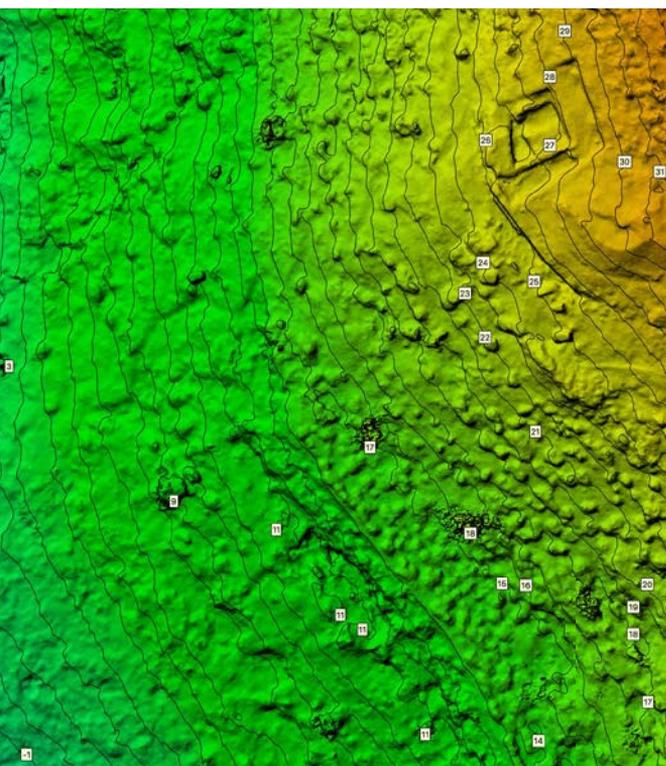


Figura 297 (superior izquierda). MDT. Terreno natural. Bolvax (Cieza). Realizado: Autor.  
 Figura 298 (superior derecha). MDT. Inicio excavación. Bolvax (Cieza). Realizado: Autor.  
 Figura 299 (inferior izquierda). MDT. Fin de excavación. Bolvax (Cieza). Realizado: Autor.  
 Figura 300 (inferior derecha). MDT. Protección/tapado. Bolvax (Cieza). Realizado: Autor.

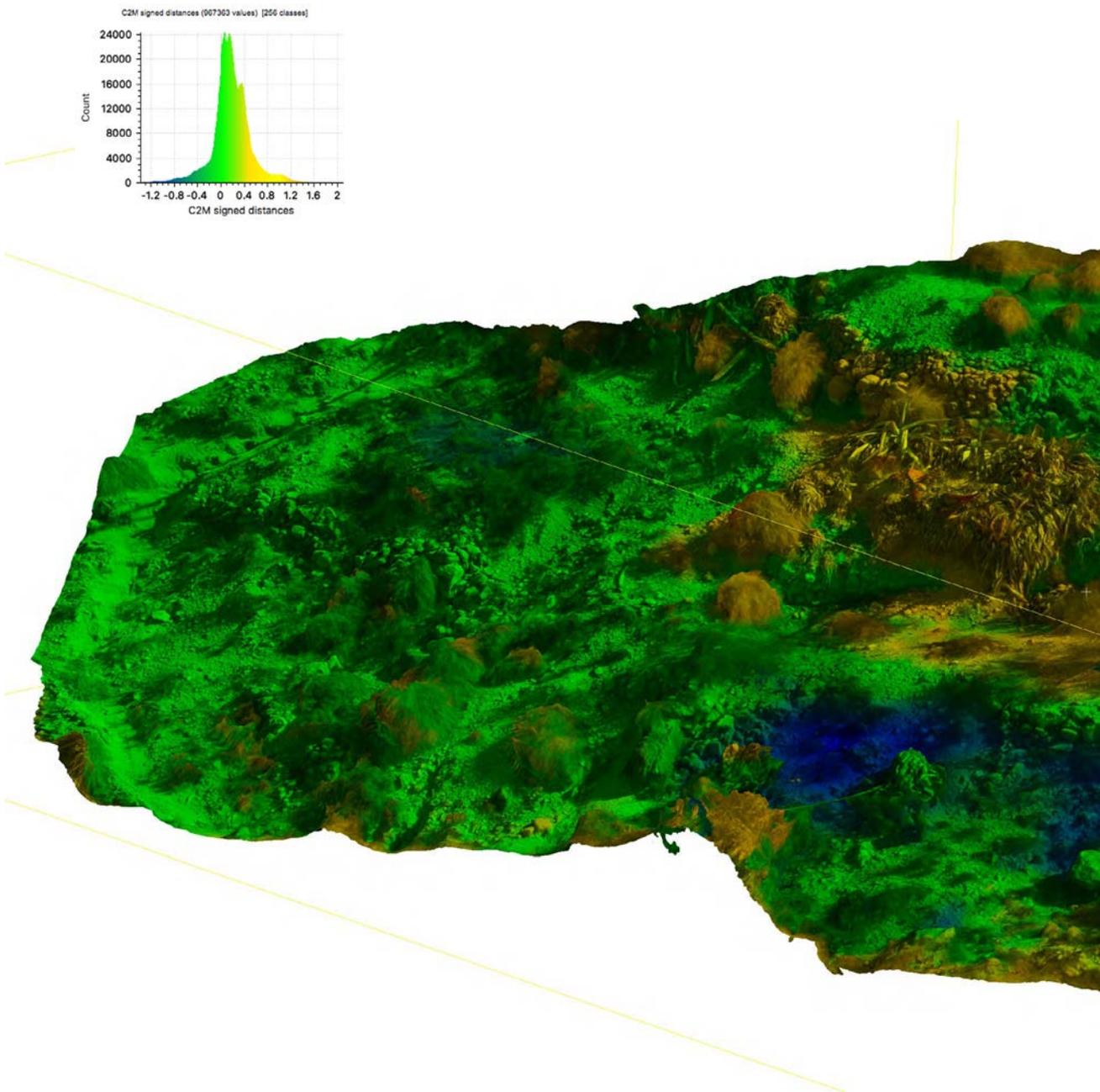
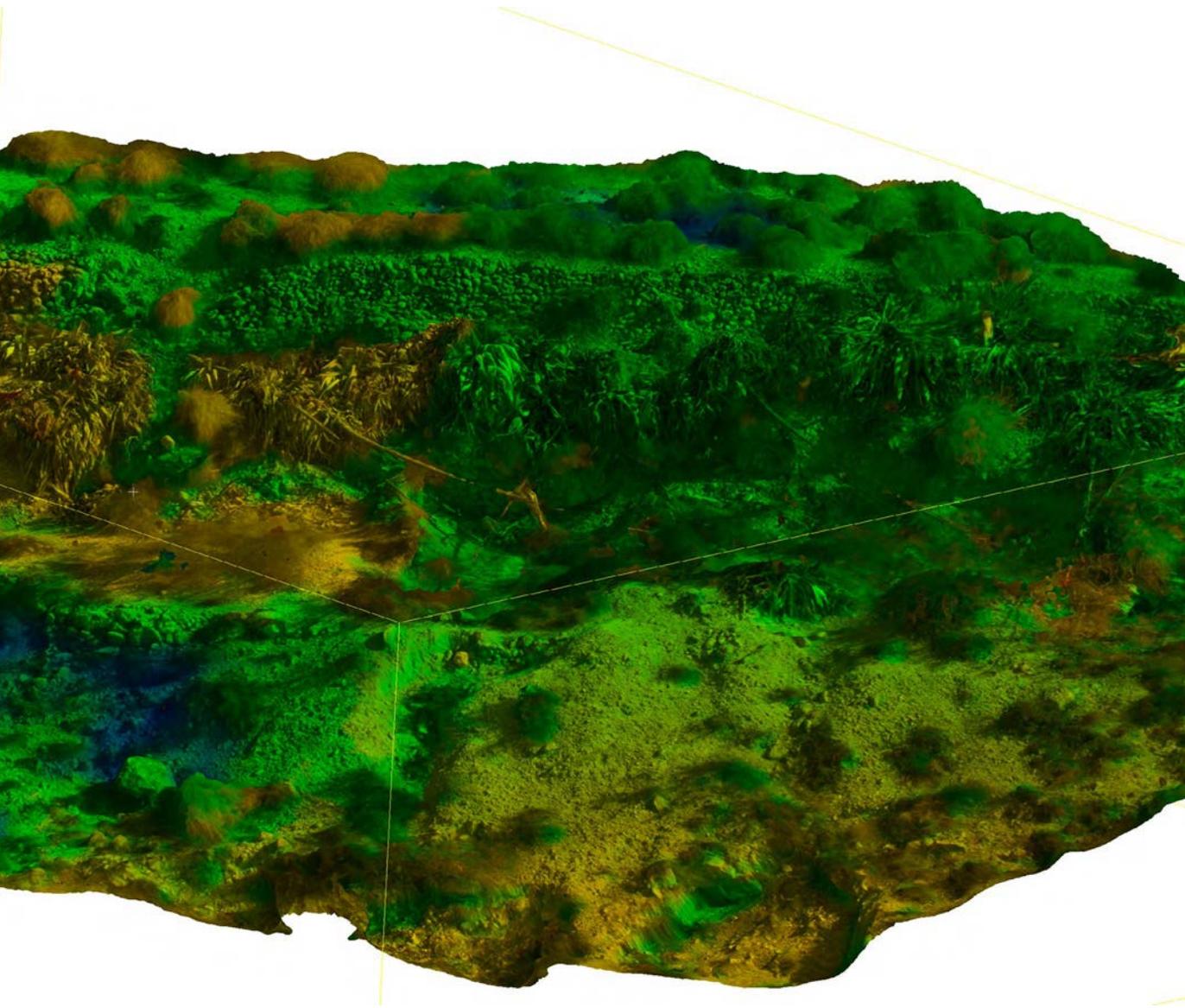


Figura 301. Postprocesado de nube de puntos comparando el terreno natural con el terreno una vez finalizada la excavación. Las tonalidades azules indican rellenos, las amarillas desmontes y las verdes continuidad volumétrica. CloudCompare v.02. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



- Documentación complementaria:

Planos de sección para reconocimiento de alzados (figuras 302 y 303)

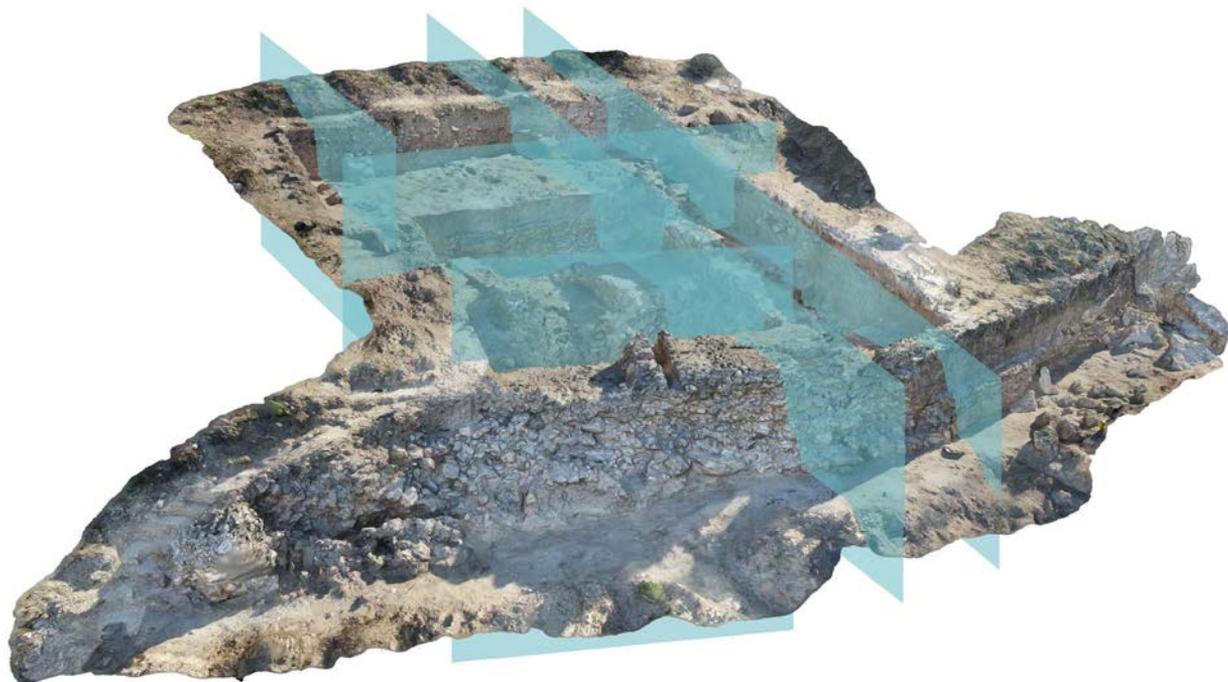


Figura 302 (superior izquierda). Modelo 3D en perspectiva de la primera fase de excavación en Bolvax (Cieza). Modelo generado con fotogrametría digital. Planos de sección. Fuente: Autor.

Figura 303 (inferior). Collage con planos de sección para documentación a escala de alzados interiores del yacimiento. Modelos generados con fotogrametría digital. Primera fase de excavación en Bolvax (Cieza). Planos de sección. Fuente: Autor.



Cuando requerimos que nuestra documentación esté georreferenciada, la fotogrametría digital requiere del apoyo en otras metodologías consideradas como “clásicas” (matemáticas, física, topografía y/o geodesia, pues al fin y al cabo todas son materias afines), una vez sobrepasado el soporte puntual, empleando GPS o estación total, podemos alcanzar y representar la totalidad de la información gráfica de esta fase de ejecución o intervención.

Analizada esta la fase de ejecución y conocida la documentación mínima exigida durante y posteriormente a la intervención, se detalla, en la tabla 027, una comparativa de resultados temporales<sup>65</sup> confrontando los rendimientos del trabajo en gabinete obtenidos, por un lado con los métodos habituales y, de otro, los derivados del levantamiento realizado con fotogrametría digital.

Requerimiento	Metodología tradicional	Fotogrametría
Situación de la Intervención	2 hora	22 minutos

<sup>65</sup> La cronología de tiempos se apoya en los resultados del rendimiento generado por el software y hardware de referencia en cada caso así como las especificaciones de calidad requeridas en cada requerimiento. El valor, expresado en horas, minutos y segundos, viene definido por el sumatorio de tiempos de procesamiento de parámetros dado por el software para cada flujo de trabajo así como por el tiempo de conversión CAD en los casos en los que se precise.

Figura 304. Técnicos en fase de toma de datos por métodos tradicionales. Excavación arqueológica de Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.



Área de excavación y superficies	9 hora 15 minutos	1 hora 15 minutos
Estado previo	17 horas 30 minutos	1 hora 32 minutos
Planimetría general	36 horas 45 minutos	4 horas 34 minutos
Documentación detallada de técnicas constructivas identificadas	1 hora 30 minutos	25 minutos
Fases cronológicas	29 horas 30 minutos	2 horas 30 minutos
Área y zonas pendientes de excavación	20 minutos	20 minutos
Mapas de ubicación de catas	3 horas 20 minutos	3 horas 20 minutos
Informe fotográfico*	2 horas	2 horas 20 minutos 21 segundos
Estratigrafía en el seguimiento y control de movimiento de tierras	42 horas	3 horas 12 minutos
Plano situación de sondeos o prospecciones	1 hora 15 minutos	1 hora 15 minutos

\* Se corresponde con el tiempo de trabajo de campo para la toma integral de las fotografías del levantamiento por fotogrametría digital.



Tabla 027. Tabla comparativa de rendimientos entre los sistemas de trabajo tradicionales efectuados en esta misma etapa y los resultados obtenidos del empleo de la fotogrametría. Fuente: Autor.

#### 4.4. FASE 04. GESTIÓN.

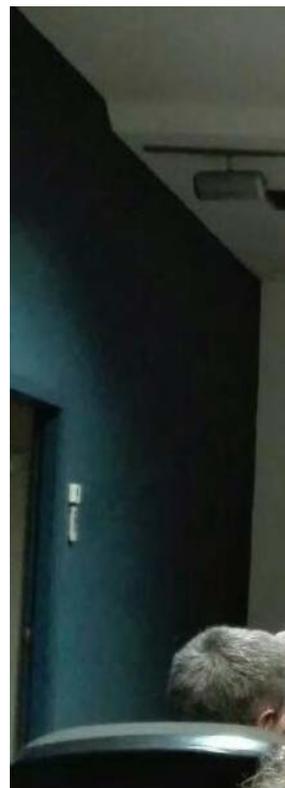
Una vez intervenido un bien y realizado el esfuerzo de rehabilitarlo, restaurarlo y/o salvaguardarlo, propiciado esto por su descubrimiento, por una necesidad de actuación por seguridad o cambio de uso, por la continuación de labores de conservación comenzadas con anterioridad, etc., es inexcusable no aprovechar la ocasión para promover su mantenimiento, pues, finalizada la intervención, el bien ya empieza a envejecer.

En la actualidad, el marco normativo que protege al patrimonio manifiesta que la mejor garantía para una adecuada protección y conservación es una adecuada difusión (Ravé, Respaldiza y Fernández, 1996). Para autores como Hernández<sup>66</sup>, la difusión, es una estrategia que se emplea para hacer más perceptible el patrimonio y que este pueda ser conocido y apreciado por una mayor cantidad de personas. Otros añaden que, además, la difusión es una misión cultural mediadora entre el patrimonio y la sociedad (Crespo, Losada y Martín, 2007).

En esta fase de intervención, y según estas definiciones, los objetivos del mantenimiento, uso y difusión pretenden, en última instancia: valorizar el patrimonio, facilitar su comprensión, hacer partícipe al pueblo del reconocimiento a través de su significado y manifestar la importancia de salvaguardar y transmitir los valores tangibles e intangibles en el entorno cultural, natural y contexto social.

La separación, cada vez más patente, entre la globalización y homogeneización cultural y el mundo tradicional han precedido a una situación de desinterés o apatía y, en algunos casos, directamente desprecio por muchos de los bienes patrimoniales que nos rodean pues denotan, para algunos, un símbolo de retraso de la población y miseria.

La difusión, por tanto, de los valores del patrimonio concluida la intervención es prioritaria. Velar por que la población en general y las diferentes comunida-



66 Hernández, F. H. (2002). El patrimonio cultural: la memoria recuperada. Trea.

des en particular reconozcan sus valores y sean partícipes de su conservación. La sensibilización, la utilidad o las “raíces” promueven la sensibilización y denotan el valor del trabajo hecho. En gran parte de los casos, una presentación del trabajo



Figura 305. Presentación de resultados fotogramétricos al final de la primera etapa de excavación en el yacimiento arqueológico de Bolvax. Museo Arqueológico de Murcia (MAM). Fuente: Autor.

desarrollado (figura 305), publicar fotografías del antes y después, una charla para presentar un nuevo uso o una publicación en la prensa local son, generalmente, una buena estrategia.

Según la Carta Internacional sobre el Turismo Cultural<sup>67</sup> de 1999 adoptada por ICOMOS en la 12ª Asamblea General de México, el hecho de dar a conocer, y permitir que se contemple, al público en general crea actitudes de respeto y solidaridad por lo cercano, sobre todo en cuestiones de perdurabilidad, fragilidad y pertenencia. Además y tal y como se ratifica en 1977 con la Carta de Quito<sup>68</sup>; en

<sup>67</sup> Carta Internacional sobre el Turismo Cultural. La Gestión del Turismo en los Sitios con Patrimonio Significativo, 1999 [<http://www.icomoscr.org/doc/teoria/ICOMOS.1999.carta.turismo.cultural.pdf>].

<sup>68</sup> [<http://www.icomos.org/charters/quito.htm>].

1980 con la Declaración de Manila sobre Turismo Mundial<sup>69</sup> o en 1964 con la Conferencia de Helsinki<sup>70</sup>, con este fenómeno, se promueve el turismo y se fomenta la protección de lugares y el desarrollo económico.

El cumplimiento de estos objetivos lleva aparejadas actuaciones investigadoras que implican el impulso de técnicas y directrices profesionales para la interpretación, representación, documentación y exposición del patrimonio cultural donde, actualmente, y tal y como se describe y demuestra en el capítulo 3.4 de Gestión, aplicación y difusión de resultados (figura 306) de esta tesis, incluyen el uso de Tecnologías de la Información y Comunicación.

#### 4.4.1. Uso del patrimonio

Es ya en la fase de gestión donde se determina el tipo de mantenimiento que se pretenda dar al bien pues se han concluido las labores de conservación y es el momento de establecer objetivos para conservarlo en condiciones adecuadas.



Figura 306. Interior de las instalaciones del Museo de Siyâsa, reconstrucción a escala de vivienda excavada en Medina Siyâsa. Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

<sup>69</sup> [www.congreso.gob.pe/comisiones/1999/turismo/misc01.htm].

<sup>70</sup> 4ª Conferencia Europea de Ministros Responsables del Patrimonio Cultural. Helsinki, del 30 al 31 de Mayo de 1996.

Es común asociar el mantenimiento a la idea de reparar aquello que está dañado (comúnmente llamado mantenimiento correctivo), pero, con el método escogido de intervención integral de RehabiMed, éste adquiere un término algo más profundo pues incluye el mantenimiento planificado y preventivo donde, respectivamente, uno implica establecer un calendario de operaciones enfocadas al mantenimiento y, el otro, a realizar aquellos procedimientos con anterioridad a que el bien se deteriore.

En cuanto a las labores de mantenimiento, desde RehabiMed, se propone dotar al bien de una ficha identificadora que la información existente de ese patrimonio, se disponga un calendario que proyecte las operaciones de mantenimiento (reparaciones, limpieza, inspecciones y renovaciones) y se incluya una referencia al profesional que debería realizar esas operaciones.

Esta ficha podría servir también de cuaderno del mantenimiento y reformas realizadas y/o de las incidencias acaecidas de forma que, con el paso del tiempo, se convierta en un historial de actuaciones (figura 307).



Figura 307. Representación tridimensional para difusión generada con fotogramétrica de una estancia de la vivienda nº 10 en la excavación arqueológica de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Otras de las posibilidades finales sobre el patrimonio una vez intervenido es no sólo conservarlo sino dotarlo de un uso concreto o musealizarlo.

Con la creación de infraestructuras vinculadas (figura 308), mejora en los accesos, señalización, creación de itinerarios, puntos de observación, etc., se garantiza un adecuado conocimiento de lo observado y una inmejorable conservación del bien.

A veces, estas infraestructuras, van ligadas a un valor inmobiliario y a la amenaza de la proyección de intereses sobre usos o disfrutes, que, por otro lado, y para el caso del patrimonio arquitectónico, por ejemplo, es condición indispensable para en muchos casos ser socorridos con una correcta conservación, mantenimiento y estabilidad. La arquitectura demanda ser útil y vivida pues, de otra forma perece y queda obsoleta, convirtiéndose en una pieza arqueológica.

En muchos casos, y fruto de estas reflexiones, se deduce que la conservación de los bienes patrimoniales y su valor histórico-artístico, en aquellos casos en que puedan ser reutilizados o reciclados, no reside sólo en su continuidad de presencia física sino también en la adecuación de uso que el pueblo pueda hacer de este. De aquel proceso se deriva un gran reto: gestionar y disponer mecanismos que admitan la compatibilización entre uso adecuado, respeto y no alteración de la comprensión original.

El último de los actos que facultan la gestión como método es la musealización y puesta en valor del patrimonio. Esta forma de actuación, turística, didáctica, cultural y social, concierne a instituciones o centros de carácter permanente que, abiertos al público, congregan, conservan, documentan, ordenan, difunden, investigan y exhiben de forma científica, didáctica y estética conjuntos y colecciones de valor histórico, artístico, científico, técnico o de cualquier otra naturaleza cultural, para fines de estudio, educación o contemplación (Sarría, 2009).

Con ello, y estrechamente emparentado, pues es uno de los medios para

Figura 308 (derecha). Reconstrucción de una de las viviendas excavadas en el yacimiento de Medina Siyâsa mejorando su entendimiento y visualización social. Interior del Museo de Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.



realizar esta actividad, aparece la educación. La pedagogía patrimonial conciencia, sensibiliza e instruye a través de la educación. Es en este mundo dominado por la imagen, donde, herramientas como la fotogrametría (que procesan información visual y virtual en las tres dimensiones del espacio en alta definición) hacen que el alumno (figura 309) puede expresar el patrimonio histórico.

Es necesario, por esto, el desarrollo de programas y metodologías educativas (3.4.3 a 3.4.8 de esta tesis), desde niveles escolares básicos, que despierten la inquietud, conciencia e interés por la protección y por el significado de éste.

Ya en la Carta de Ename, y estableciendo la responsabilidad social y el respeto por el contexto y significado cultural del patrimonio, se escoge la expresión “interpretación” y representa a la misma como una necesidad de desarrollar todas las actividades potenciales realizadas para incrementar la concienciación pública y favorecer un mayor conocimiento patrimonial. Así, también cree que todas estas acciones deben circunscribir charlas, conferencias, publicaciones, equipamientos, investigación, programas educativos o de formación y métodos retroacción permanentes y paralelos al proceso de interpretación.



En cualquier caso, la fase expresa de gestión y conocimiento de características (técnicas, físicas, formales, de valor y cultural), siempre van combinadas a la documentación gráfica y su posterior procesado en forma de productos patrimoniales.

Finalmente, acabada la ejecución sobre el patrimonio y programadas las inspecciones periódicas evaluadoras, es posible detectar problemas que requieran reprogramar el manual y proponer el reinicio del proceso a la fase 01 de conocimiento. Aquí, tendremos por tanto, dos caminos, el de continuar con la conservación y el uso del bien o volver a actuar sobre este (figura 310).

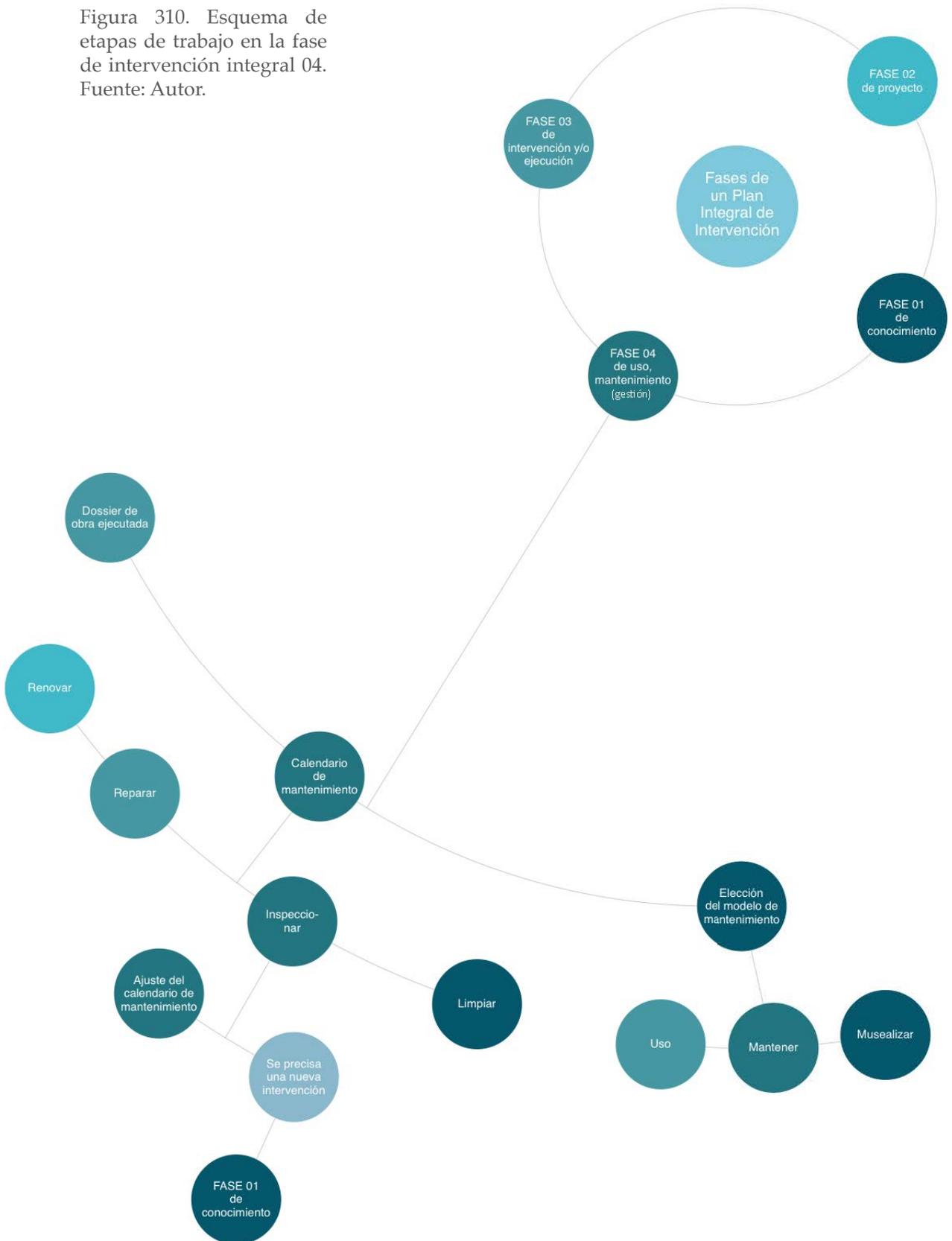
#### 4.4.2. La fotogrametría en la fase de gestión

En esta cuarta y con la intención de justificar cómo la fotogrametría digital es una técnica ventajosa en las labores de musealización, mantenimiento y uso, se apoya la demostración en torno a un ejemplo concreto.

Figura 309. Demostración e interacción de visitantes al stand con modelos virtuales generados con fotogrametría empleando la realidad aumentada. Semana de la Ciencia de Murcia,



Figura 310. Esquema de etapas de trabajo en la fase de intervención integral 04.  
Fuente: Autor.



El caso práctico escogido (figura 311) pretende, dada su materialidad y morfología diferenciadora, pues se trata de un bien patrimonial industrial, comprobar si la fotogrametría es una herramienta útil y viable para acometer cualquiera de las intervenciones contenidas en esta cuarta fase, pasando a elaborar un análisis crítico del resultado obtenido, que permita evaluar el potencial real de la misma.

Finalizada la intervención y ya dentro de la fase de uso, nos encontramos en un período en el que el mantenimiento y la difusión son herramientas indispensables para considerar efectivo el proceso integral llevado a cabo.

#### 4.4.2.1. Antecedentes

El cuerpo industrial que se muestra en este apartado se escoge tras haber estimado diversas alternativas arquitectónicas y arqueológicas.



Figura 311. Submarino Peral expuesto en el Paseo Marítimo de Cartagena, 2007. Proa mirando al mar. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 312. Submarino Peral en el interior de la antigua nave de fundición del arsenal militar. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

En este caso, y por tratarse de una buena forma de demostrar la necesidad, en casos concretos, de dianas/targets (figura 313 y 314), máscaras y/o marcadores en gran número derivado de la materialidad y/o morfología del bien patrimonial se ensaya la posibilidad de aplicación integral de la FASE 04 sobre el submarino Peral.

Las labores de restauración y musealización a las que se expone este patrimonio comienzan en diciembre de 2013 con el traslado del submarino al antiguo taller de fundición del arsenal de Cartagena, donde queda depositado sobre un carro cuna de varada a la espera de iniciar su restauración (figura 312).

El equipo de trabajo del plan de actuación previsto por la Armada cuenta, por un lado, con la colaboración de instituciones como el Instituto de Patrimonio Cultural de España (IPCE), el Ayuntamiento de Cartagena, las fundaciones REP-



SOL y “Juanelo Turriano”, la Universidad Católica de Murcia, y otras instituciones locales como el Centro Tecnológico Naval, la UPCT, el Instituto Politécnico y el centro de Formación Profesional de Salesianos. De otro lado, también participan técnicos especialistas en mantenimiento y conservación de buques (del Centro Tecnológico Naval y del Ramo de Casco del Arsenal de Cartagena), así como personal investigador y profesionales ligados al sector de la restauración, configurando un equipo interdisciplinar.

Esta intervención ha puesto de manifiesto la importancia de un modelo de gestión abierto basado en una participación activa de los agentes sociales, económicos o culturales en un momento como el actual.

Al tratarse de un supuesto con gran difusión mediática, la actuación se plantea de forma rigurosa apoyada en unas medidas de mínima intervención, pero sin autolimitación permitiendo interpretar la verdadera dimensión del submarino dejando así de ser un elemento de adorno en el interior de una fuente al borde de un paseo marítimo a un bien patrimonial en el más amplio sentido de la palabra.

Con su recuperación y musealización los ciudadanos lo ven y perciben de forma diferente.

Algunos de los condicionantes que hicieron considerar este supuesto práctico como adecuado son:

- Demuestra la necesidad de intromisión por parte del técnico que aplica la fotogrametría en algunos casos concretos (formas, brillos, obstáculos, tonalidades, materialidad, etc.) y bajo unas condiciones (situación, entorno, iluminación, etc.) específicas.
- Se enclava en una ubicación que, con la apertura de la nueva sala, se integra un nuevo espacio museográfico en la trama urbana del área portuaria de Cartagena que convierte a la zona en un área dinamizada y polivalente sobre un modelo de desarrollo de ciudad sustentado, en parte,

por la gestión turística y cultural de su legado patrimonial.

- Se desarrolla sobre un elemento patrimonial de indiscutible valor social en la memoria colectiva de los ciudadanos de Cartagena como son Isaac Peral y el submarino torpedero.

- Por último, se desarrolla en un contexto multidisciplinar permitiendo así contrastar rendimientos temporales y divulgativos entre técnicas tradicionales de representación/difusión y los conseguidos a través de la fotogrametría.

La etapa de trabajo contemplada en esta última fase de gestión explora las particularidades de documentación fotogramétrica relacionadas con las fases de intervención integral del patrimonio.

#### 4.4.2.2. *Contexto geográfico-histórico*

Nuestro objeto de estudio es el submarino Peral y su musealización en torno al conjunto de actuaciones que desembocan en la apertura al público, en septiembre de 2014, de una nueva sala dedicada a Isaac Peral y al prototipo del torpedero submarino coincidiendo con el 125 aniversario de su botadura.

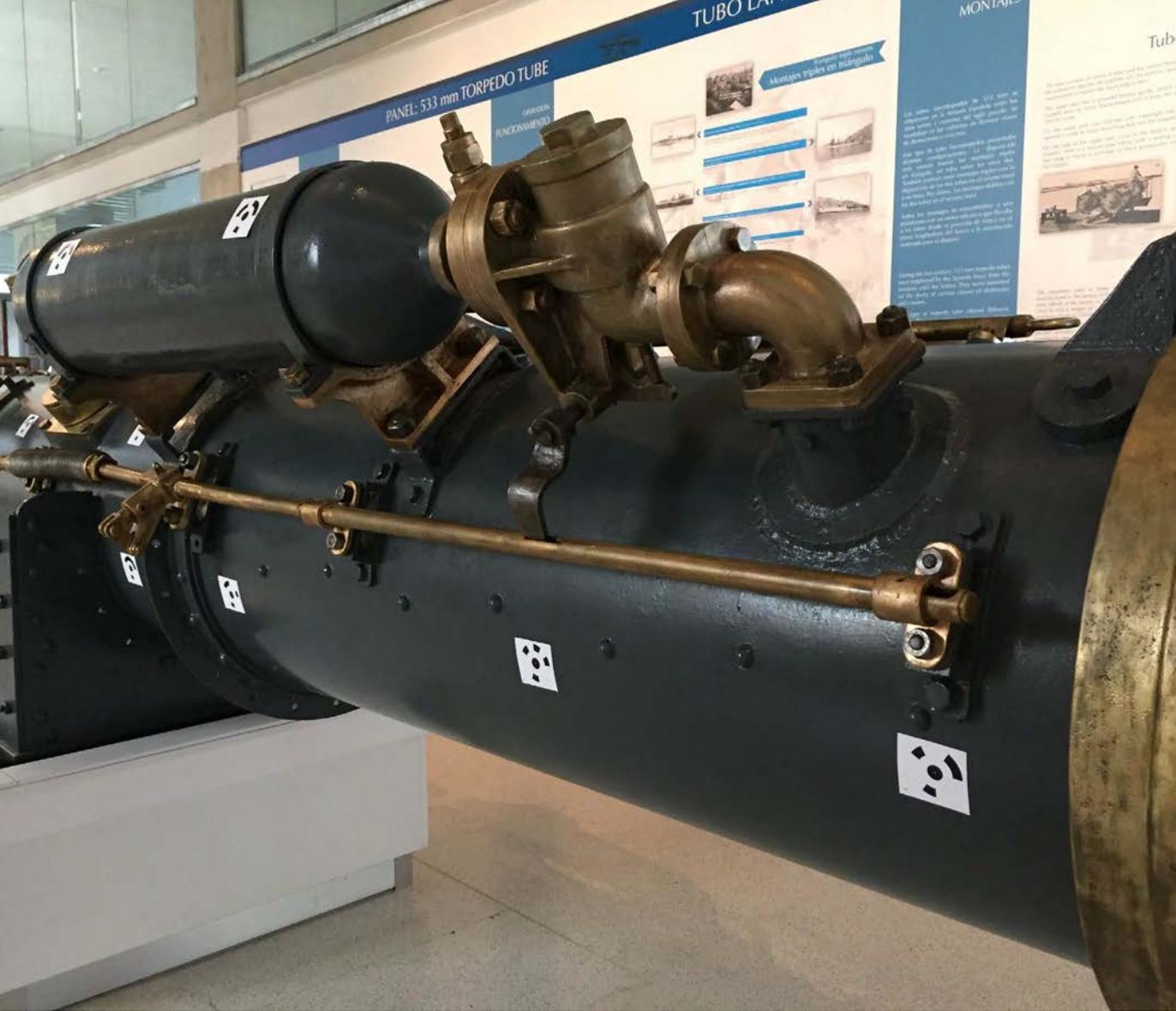
Este patrimonio se ubica en Cartagena, ciudad y municipio español cercano al mar Mediterráneo y situado en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Este prototipo es ideado por Isaac Peral en 1884 con el propósito de proyectar un torpedero submarino cuya propulsión se generare a través de motores eléctricos.

El proyecto, informado favorablemente por una junta técnica y remitido

Figura 313 (superior). Uso de dianas artificiales imantadas para el levantamiento fotogramétrico de tubo lanzatorpedos. Museo Naval de Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 314 (inferior). Preparado de dianas impresas y adheridas sobre láminas imantadas que permitan emplearse sobre patrimonio industrial férreo sin dañar su superficie. Fuente: Autor.



al ministro de Marina para su aprobación, comienza a ejecutarse el 20 de octubre 1887 en el Arsenal de la Carraca y, tras su botadura el 8 de septiembre de 1888, se realizan diversas pruebas y todas ellas exitosas.

De entre ellas se puede destacar la llevada a cabo el 16 de enero de 1890 cuando, por primera vez, se disparó un torpedo en inmersión. El 7 de Junio de 1890 se somete a las pruebas de verificación con éxito navegando a 10 metros de profundidad durante una hora y emergiendo en las coordenadas preestablecidas con lo que se produce la primera navegación submarina.

Aun siendo positivas las pruebas, la junta técnica rechaza el proyecto y el prototipo queda abandonado durante años en el Arsenal de la Carraca, corriendo el riesgo de ser desguazado tal y como lo dispuso una R.O. en 1913.

El Ayuntamiento de Cartagena solicita el traslado a su ciudad natal y, el 27 de noviembre de 1929, llega desde Cádiz al Arsenal de Cartagena, quedando expuesto en la Base de Submarinos hasta 1965, fecha en la que el ministro de Marina autoriza el traslado desde el Arsenal a las inmediaciones de la Plaza de los Héroes de Cavite y Santiago de Cuba.

En 1991 se traslada al Pabellón de la Región de Murcia en la Exposición Universal de Sevilla y posteriormente vuelve a su anterior emplazamiento. El 23 de agosto de 2002 tras la remodelación de la zona portuaria pasa a una nueva ubicación en el paseo marítimo.

Su prolongada exposición en el exterior (figura 315), sometido a diversos factores de riesgo como la humedad ambiental con altos índices de salinidad, las inclemencias meteorológicas, la contaminación o las fuentes de agua en su base, etc., genera una patología compleja que requiere una intervención de restauración (Martínez y Segura, 2014).





Figura 315. Submarino Peral expuesto en el Paseo Marítimo de Cartagena, 2007. Cartagena (Murcia). Fuente: Jorge Espín García.

#### 4.4.2.3. Elección, justificación y planteamiento del caso

Al tratarse de un supuesto práctico con una morfología compleja, singular, llena de salientes/protuberancias y muy diferente a las contempladas con anterioridad (patrimonio arquitectónico y arqueológico con fuerte valor social), subrayamos algunas de las razones que hicieron considerar este ejemplo como adecuado:

- Permite adentrarnos en las labores de musealización de un bien industrial.
- Se trata de un caso que demuestra la importancia de las labores de mu-

sealización en los bienes patrimoniales.

- Surge de un proyecto formalizado oficialmente y en el que colaboran la Armada y el Instituto de Patrimonio Cultural de España (IPCE).
- Demuestra la evolución de los bienes desde una etapa de uso práctico hasta su musealización final.
- Por último, se desarrolla en un contexto multidisciplinar (pues aparecen profesionales y expertos restauradores, arqueólogos y arquitectos, entre otros).

Esta etapa de trabajo explora las particularidades de difusión, conservación y puesta en valor (figura 316) en un recinto museal bajo cánones relacionados con la preservación, presentación y exposición.

La decisión de emprender el proyecto con la fotogrametría como herramienta documental reside en:

- Constituye una forma de conservación y difusión permitida por la legislación y muy próxima a las tendencias actuales de tratamiento de la información.
- Posibilita la obtención y difusión de un modelo 3D fidedigno a la rea-

Figura 316. Collage del estado interior y exterior del Submarino Peral antes de reubicarlo en la Sala Peral. Cartagena. Cartagena (Murcia). Fuente: Jorge Espín García.



lidad y muy alejado de las figuraciones tridimensionales generadas por software específico que generan un volumen de similares proporciones y muy diferentes materialidades.

- Conforman un sistema documental fácilmente almacenable, tratable y difundible.
- La documentación generada es susceptible de ser financiada mediante fuentes externas como convocatorias del Ministerio de Cultura u de otras entidades.
- Representa una herramienta capaz de dotarnos de un cuerpo exportable a muchos frentes de divulgación efectivos y cercanos a la sociedad actual.
- Constituye un sistema económico frente a otras metodologías que consiguieren resultados similares (escáner 3D).

Con ello aseveramos que la fotogrametría se dispone como una herramienta a tener en cuenta frente a las necesidades específicas de esta fase de gestión dentro del proceso de intervención integral estudiado en esta tesis. De igual forma, y dado que se trabaja paralelamente con otros técnicos e investigadores especialistas en el empleo de técnicas tradicionales de levantamiento y documentación, se podrán evaluar las ventajas e inconvenientes entre ambas técnicas.

Las labores desarrolladas en torno a este bien, han sido:

- Trabajo de campo. Toma de datos y reportaje fotográfico.
- Trabajo de gabinete. Levantamiento fotogramétrico y obtención del modelo.

Así mismo, el método empleado ha sido:

- Structure from motion (SFM).

El instrumental:

- Cinta métrica (Stanley powerlock).
- Cámara Sony Nex-5 con objetivo 18-55 mm.
- Escalera de mano a dos bandas o de tijera.

El hardware y software:

- Ordenador portátil Sony Vaio Fit MultiFlip.
- PhotoScan Profesional 1.3.0.
- Keyshot 4.

#### 4.4.2.4. *Ejecución de la propuesta. Puesta en práctica de las etapas de trabajo fotogramétrico*

Dado que dentro de esta fase de intervención el procedimiento de levantamiento gráfico se establece conjuntamente con otros propósitos de trabajo, se articula el proceso tangencial a ambos en cuatro fases:

1ª Traslado y adecuación del espacio arquitectónico de la Sala Isaac Peral (figura 317).

En diciembre del año 2011, tras el acuerdo firmado entre la Armada y la Fundación Juanelo Turriano se dan las circunstancias para poder iniciar los estudios previos al traslado a un nuevo emplazamiento en donde las condiciones de conservación y mantenimiento fuesen las adecuadas.

En junio de 2012 técnicos del IPCE realizan una primera visita al submarino, cuyos resultados quedan reflejados en un informe en el que se analiza el estado de conservación desde los puntos de vista medioambiental y estructural, llegando a la conclusión de la necesidad del cambio de ubicación para lo que recomiendan una serie de criterios y el método para su traslado. El 15 de diciembre de 2013 se procede al traslado del submarino a su nueva ubicación, el antiguo taller de fundición del arsenal de Cartagena, donde queda depositado sobre un carro cuna de varada a la espera de iniciar su restauración.

2ª Estudios previos.

Momento en el cual se empieza a aplicar el procedimiento desglosado en esta tesis y que aparece tras el traslado. El informe firmado por los técnicos del IPCE aborda la necesidad de realizar unos estudios previos con una metodología razonada y de base científica en los que basar la propuesta de restauración. Esta restauración se realiza con el fin de eliminar los principales agentes de degradación, conseguir la estabilización de los materiales y devolver la unidad a la pieza sin alterar su integridad física.

Los estudios previos han permitido determinar la patología que afectan al submarino así como determinar y establecer la metodología de trabajo para su restauración. Estos estudios previos sobre el exterior del buque se pueden agrupar en cuatro ejes:

- Análisis de las pinturas

El Centro Tecnológico Naval y del Mar junto con la Universidad Politécnica de Cartagena han abordado el estudio de la pintura que recubre el exterior a través de su análisis mediante microscopía óptica y electrónica de diversas muestras que ponen de manifiesto una sucesión de capas de pintura contemporáneas que han perdido su capacidad de protección.

- Análisis patológico

El Instituto de Patrimonio Cultural de España a través del Departamento Arqueología, sección metales de su Servicio de Conservación y Restauración de Obras de Arte, Patrimonio Arqueológico y Etnográfico asume la financiación y contratación de estos estudios previos.

- Análisis estratigráfico/constructivo



Figura 317. Maniobra de traslado sobre plataforma remolcadora para posterior depósito en la antigua nave de fundición del arsenal militar de Cartagena (Murcia). Fuente: Jorge Espín García.

Paralelamente se inicia un plan de investigación arqueológica en el exterior mediante una ficha de unidades construidas que permite establecer la relación estratigráfica entre cada uno de los elementos, además de situar y describir la unidad, su estado previo, la propuesta de intervención y los resultados. Lo interesante de este trabajo es que, de muchas de las unidades, se desconocía su funcionalidad y ahora se ha determinado gracias a este minucioso estudio en el que ha sido fundamental la documentación original conservada, planos y diario de construcción. En total se ha individualizado cerca de 130 unidades.

- Análisis fotogramétrico

Documentar el estado previo a la intervención es otro de los puntos fuertes de los estudios. Tanto el IPCE, que desplaza a Cartagena a uno de sus técnicos en fotogrametría para realizar un ensayo que permita determinar si es posible hacer una medición precisa de las formas del submarino mediante un escaneado en 3D, como profesores del Aula de Arquitectura Militar de la UCAM (figura 318), han trabajado en la restitución fotogramétrica.

La implicación de la fotogrametría digital en esta segunda etapa, con su levantamiento gráfico, y tal y como se demuestra en los capítulos 4.1, 4.2 y 4.3 de esta tesis, termina convirtiéndose en herramienta útil, no sólo para la definición planimétrica y volumétrica, sino para la colaboración en las labores de determinación del análisis de pinturas, patológico y estratigráfico (empleando los resultados fotogramétricos).

Figura 318. Proceso de levantamiento fotogramétrico en torno al submarino Peral por uno de los miembros del Aula de Arquitectura Militar de la UCAM. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.



### 3ª Proyecto e intervención.

Los criterios básicos de intervención se basan en las directrices recogidas en las diversas legislaciones sobre el patrimonio histórico y en las recomendaciones de los organismos internacionales en la restauración de bienes culturales a las que ya se ha hecho referencia (capítulo 2.1). En la medida que la materialización de los conceptos lo ha permitido, se han seguido las indicaciones teóricas recomendadas por el IPCE, donde los trabajos han consistido en:

- Eliminación restos capas de pintura vinílica y masillas
- Eliminación de óxido superficial mediante medios manuales y mecánicos.
- Limpieza con etanol de la superficie total del submarino al objeto de eliminar polvo, restos del óxido procedente del lijado y grasa sobre la superficie pictórica a conservar (1929-1965)
- Aplicación de inhibidor en todas las zonas con óxido
- Aplicación de imprimación de un componente con fosfatos como pigmentos inhibidores de la corrosión.
- Aplicación de capa de acabado que homogeneiza cromáticamente la superficie.

### 4ª Musealización.

Objeto de esta fase de intervención y para acentuar el valor del continente y contenido, es decir, nave y submarino, se plantea el desarrollo de unos contenidos que se abordan en un proyecto museográfico, documento marco que permite establecer un discurso centrado tanto en el personaje, Isaac Peral, como en su obra, el submarino torpedero. Así pues, del personaje, a través de una línea de tiempo, se van señalando diversos apuntes biográficos que se completan con la exposición de diversos objetos personales, entre los que destacan su despacho y otros fondos vinculados al inventor, todos ellos pertenecientes a diversas instituciones y particulares, como el propio Museo Naval, Ministerio de Cultura o los descendientes de Isaac Peral.

#### a. Trabajo de campo

Es aquí donde obtendremos las fotografías del Peral y donde recopilaremos los datos de levantamiento in-situ necesarios para el posterior escalado del modelo generado, recreación virtual y formación de planos a escala, con la que se consiguió suficiente información descriptiva para su correcta interpretación plani-

métrica, altimétrica, para la confección de secciones transversales y longitudinales y, en última instancia, para la obtención de la textura del submarino.

Asimismo, tanto la documentación gráfica y escrita como el modelo 3D, sirvieron de apoyo tanto a la redacción de la memoria de restauración del Peral como a su musealización.

Antes de comenzar la captura fotográfica se define una estrategia (figura 319) para la correcta toma de fotos de acuerdo con lo estipulado en los procedimientos de actuación del capítulo 3.1 de esta tesis. Dado que el campo de utilización de la restitución fotogramétrica es muy amplio y con el objeto de conseguir la mayor definición del elemento restituido, se hace indispensable conocer profundamente las características físicas, morfológicas y dimensionales de aquello que pretendemos abordar para, de esta forma, elegir el método fotogramétrico más apropiado (figura 320).

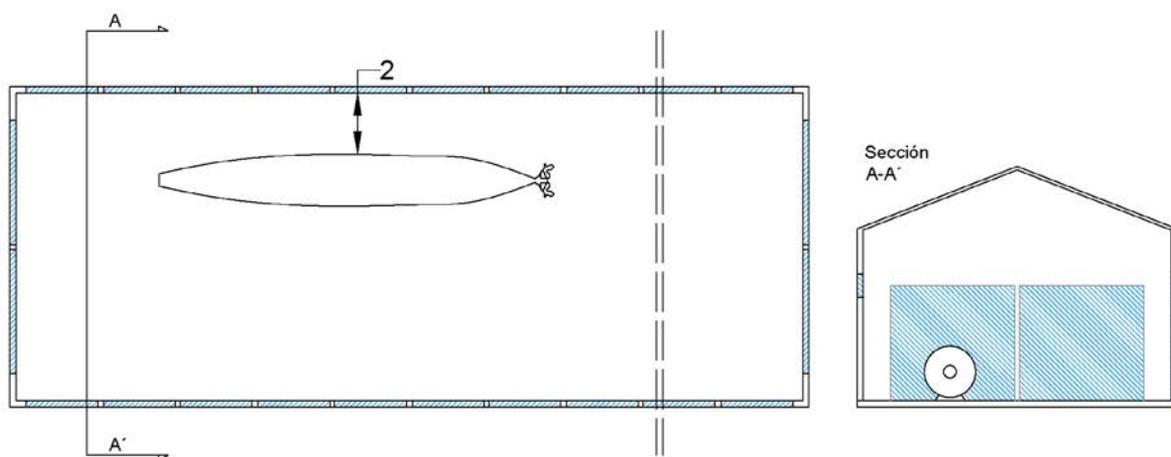


Figura 319. Situación en planta del submarino Peral dentro de la sala de exposición. Las zonas sombreadas corresponden a huecos de puerta y ventana. Sala Isaac Peral, Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Como contemplación previa a la elección de puntos de estacionamiento se consideran las limitaciones ópticas de nuestro equipo de trabajo (la cámara fotográfica), las condiciones de luminosidad en la zona de tomas (figura 321, 322 y 323) y los obstáculos circundantes al submarino (andamiajes, puntos de luz, elementos

de sujeción, condicionantes estructurales, etc.).

Para determinar si nuestra cámara aportaba la suficiente precisión, y, por lo tanto, estaba dentro de los límites establecidos de tolerancia, estudiamos la resolución de las imágenes tomadas con la misma, consiguiéndolas de 4608 x 3072 píxeles. Teniendo en cuenta que, en cualquier trabajo fotogramétrico, la experiencia en temas de calibración nos dice que no quedará aprovechada la totalidad de la resolución por quedar ésta alejada de los márgenes un 10 % (Cueli, 2011), la resolución efectiva quedará en 3686 x 2457 píxeles (10 % por cada lado supone quedarnos con el 80 % de las dimensiones).

Es en este ensayo concreto en el que estudiamos este dato con más detenimiento pues, ante la cantidad de reflejos existentes en el material metálico del casco del Peral se hace necesario recurrir a un número mínimo de fotografías que permita la obtención de una adecuada fotogrametría.

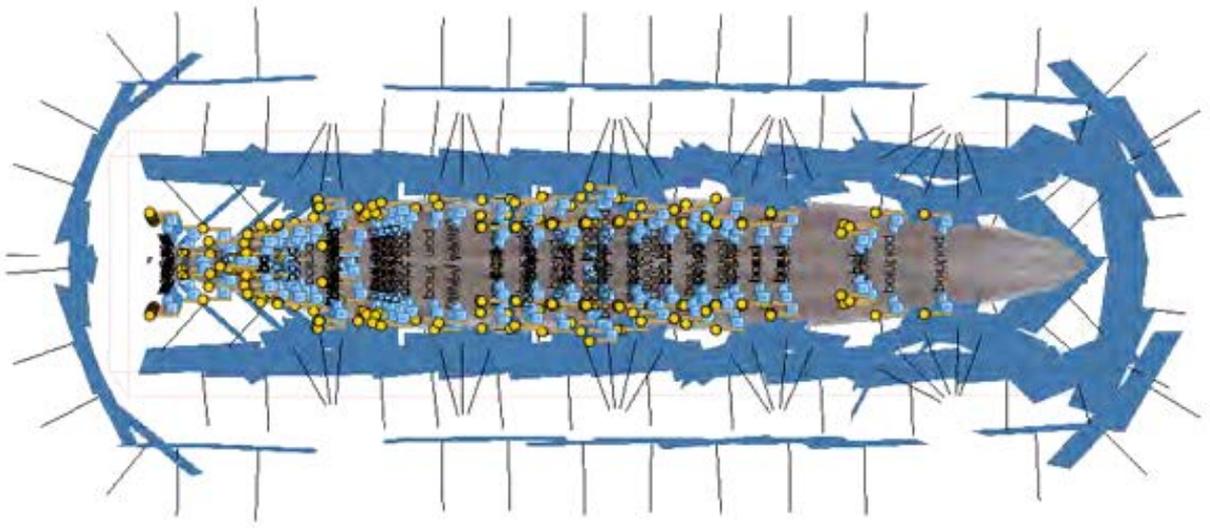


Figura 320. Representación croquizada del itinerario de trabajo fotogramétrico. Barridos y solapes. Sala Isaac Peral, Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

El levantamiento, que pretende definir con precisión y detalle al submarino, requiere de un levantamiento en el que cada píxel ocupe 3 mm. En estas condiciones, los 3686 x 2457 píxeles de resolución de la cámara de referencia, nos permiten reflejar una superficie de 11 x 7 metros cuadrados aproximadamente, siendo más que suficiente para conocer específicamente el tipo de material y textura del submarino.

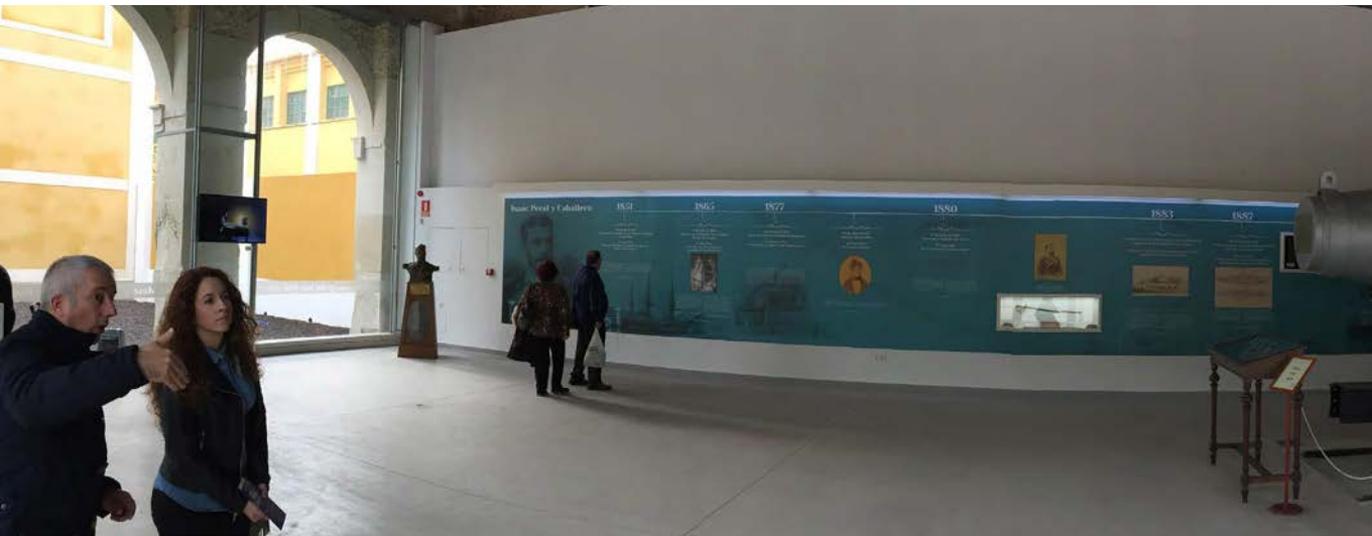


Figura 321 (superior). Panorámica Museo Naval de Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 322 (central). Panorámica de la zona de acceso a la Sala Peral. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 323 (inferior). Panorámica interior de la Sala Peral ya terminada. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Por tanto, y según la descripción metodológica de investigación propuesta en la etapa 02 del apartado 3.2 de la presente tesis, una buena actuación en torno a un buen proyecto fotográfico en fase de campo conlleva:

- Estudio del lugar. Se realiza una inspección visual alrededor del bien patrimonial intervenido donde las condiciones de luminosidad y características del espacio que alberga a “El Peral”, fueron estudiadas como uno, puesto que, para este caso, una iba de la mano de la otra. La dispo-



Figura 324. Collage con parte del reportaje fotográfico extenso realizado para la documentación fotogramétrica del bien patrimonial. Sala Isaac Peral, Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

sición del submarino en la nave, cercana a uno de los laterales, estando éste únicamente acristalado en la zona más próxima a cubierta, hicieron complicada, por un lado, tanto la constitución de estaciones físicas para la toma fotográfica, como, por otro, la necesidad de valorar, en exceso, los tiempos de exposición (periodo durante el cual está abierto el obturador de la cámara) a la hora de capturar imágenes.

- Documentación de apoyo. Se dibuja un croquis general donde quede representada la orientación y las cotas principales. Así mismo, realizar una toma fotográfica, no con intención fotogramétrica, pero que si facilitará la percepción del entorno con respecto al submarino y su ubicación en la sala.

- Puesta a punto del equipo fotográfico y toma de datos tanto del modelo de cámara empleado como de las especificaciones en ella establecidas en el momento de la captura (objetivo, formato de imagen, etc.) y donde, para el lateral del submarino más próximo a la edificación, fueron necesarias tomas de 1/40 segundos o, lo que es lo mismo, tiempos largos de apertura del obturador, con los consiguientes problemas de desplazamientos durante las tomas (imágenes movidas) haciendo indispensable el uso, en todo momento, del trípode para cada estación (Wulff, 2010; Stanco, 2011).

- Elaboración de proyecto de estacionamiento y captura fotográfica. Determinar la mejor relación de distancias entre puntos de estación y/o captura así como mantener una referencia de solapes en todo el proceso (figura 324). Se evaluó la distancia frontal para un adecuado encuadre. Ésta se convirtió en nuestro eje de giro alrededor del objeto a restituir. Ese giro/arco fotográfico alrededor del submarino nos proporcionó una nube de puntos fundamental en cuanto a profundidades que se convirtieron en indispensables para este caso concreto, permitiendo no dejar zonas sombreadas (apartado 3.2.4.).

- Comprobar todo el trabajo realizado antes de abandonar el lugar.

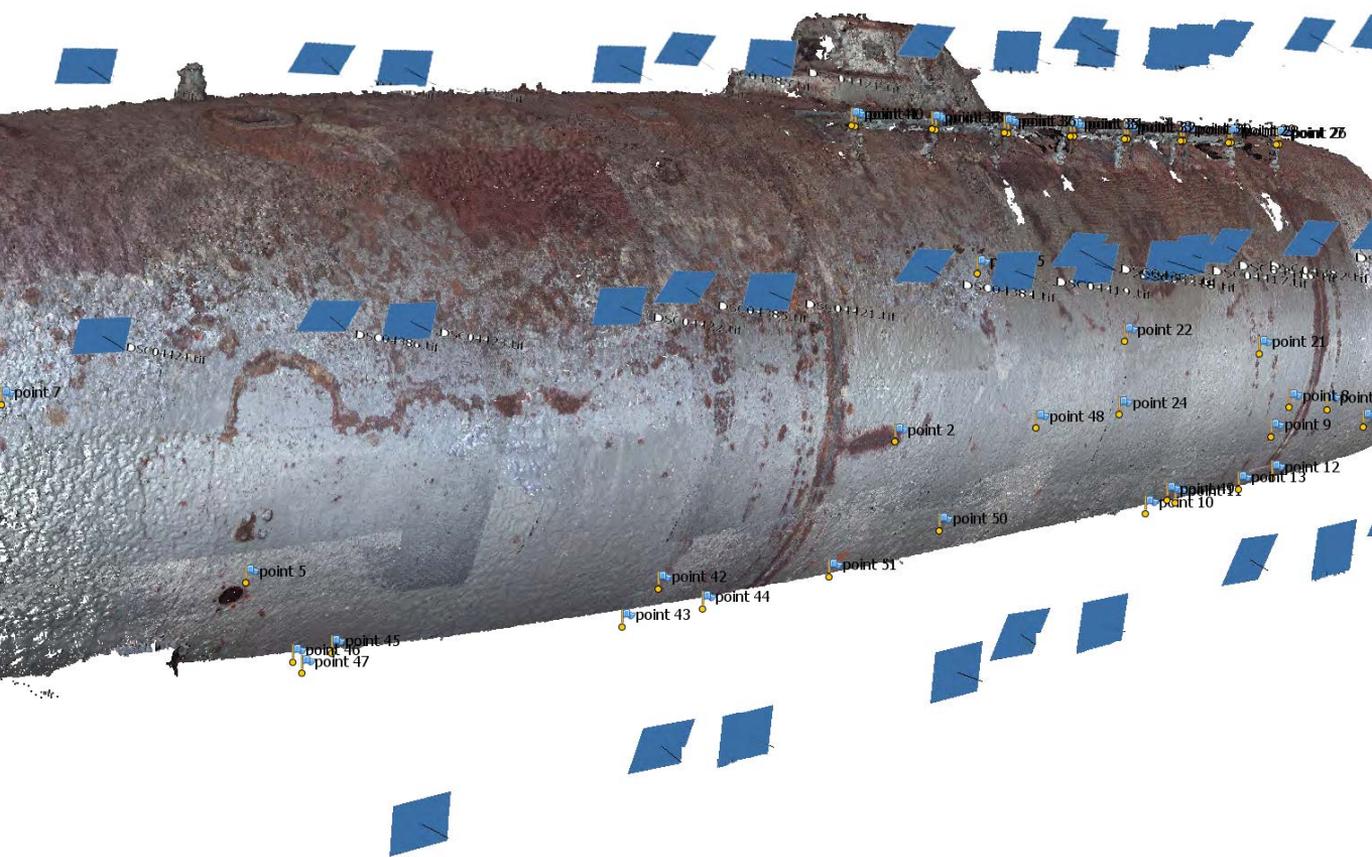
Este método de trabajo, con captura fotográfica a nivel del suelo, se realiza con la primera de las estaciones no escogida de forma aleatoria, sino escogida de acuerdo con la máxima distancia de radio que permitía la peor de las tomas, es decir, la del lateral de El Peral más próximo al cerramiento (siendo ésta coincidente con una de las partes de mayor curvatura del submarino). Establecida la estación,

y teniendo en cuenta que ésta, por ser frontal al objeto, nos procuró la mayor densidad de puntos de la nube y, por consiguiente, la mayor parte de la planimetría en términos de superficie restituida, se convirtió en punto clave del resto del levantamiento.

En este caso la toma de fotografías se realiza con la cámara de referencia empleada en toda la investigación, Sony Nex-5 CMOS APS-C de 14 Megapíxeles en ISO 200, enfoque automático y objetivo con distancia focal fija a 18 mm.

Puesta la cámara en la posición central tuvimos que conseguir que nuestras imágenes fueran lo más nítidas posibles. Es ésta la que proporciona nubes de puntos densas al procurarnos una textura rica en matices, por ello, la decisión tomada fue la de enfocar al centro de aquello que queríamos restituir.

Escogida la posición y teniendo presente que las imágenes paralelas al objeto son, como hemos dicho, las que proporcionan mayor cantidad de puntos en la nube, se hizo necesario el trazado de estaciones equidistantes entre si y paralelas al objeto a levantar (figura 325).



La forma en que se realizan las fotografías se divide en dos fases bien diferenciadas:

- La primera de ellas, y con separación en paralelo ya descrita, permite hacer un barrido en horizontal del submarino, es decir, un cajeado del mismo.
- La segunda, algo más compleja, comienza con estación en el punto inicial y más desfavorable y culmina con un barrido completo en arco sobre el Peral. La primera de las trazadas se hace a una altura inferior, la segunda a altura media y la tercera y última en la zona alta con ayuda de medios auxiliares de elevación.

La documentación fotogramétrica derivada de esta intervención genera un archivo integral con el que se obtienen representaciones gráficas cuidadas, precisas y útiles tanto para la elaboración de la memoria de restauración en todos sus ámbitos como para la fase de uso o musealización.

El número capturas y tiempos de trabajo empleados para las tomas fotográficas en cada una de las visitas varía en cada una de las intervenciones a las que se hizo referencia en párrafos anteriores y queda desglosado de la siguiente forma:

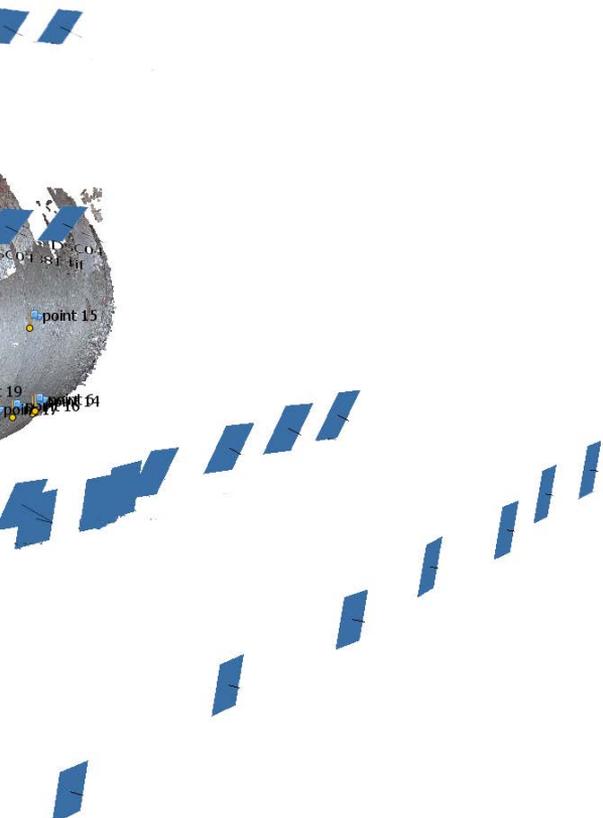


Figura 325. Perspectiva tridimensional del modelo del submarino Peral generado por fotogrametría. Las referencias azules indican la cronología fotográfica (posición e inclinación). Babor del submarino. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Etapa	Nº de fotografías	Tiempos
Alzado interior general	86	69 minutos 12 segundos
Alzado exterior general	50	17 minutos 42 segundos

Tabla 028. Tabla resumen por zonas de trabajo con sus respectivos rendimientos fotográficos y temporales. Información detallada obtenida de la libreta de campo y contrastada con los metadatos de las imágenes. Fuente: Autor.

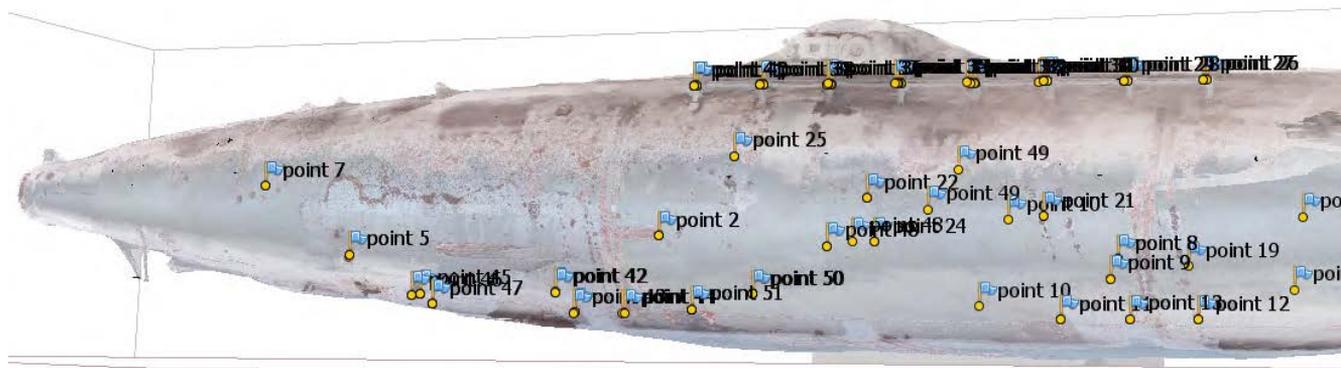
### b. Trabajo de gabinete

Es en esta etapa donde, empleando la documentación gráfica, documental y fotográfica recopilada en campo, y a través del software escogido para emplear la fotogrametría, Agisoft PhotoScan, como obtendremos la representación ortogonal lineal de los alzados, secciones y plantas, así como toda aquella documentación gráfica en dos o tres dimensiones necesaria para su publicación, difusión, musealización, reconocimiento y valorización.

Para el levantamiento del submarino Peral, a diferencia de lo que sucede con trabajos arquitectónicos y por presentar éste un cuerpo casi en su totalidad curvo, la restitución a través del software se convierte en un procedimiento manual en el que son necesarias 220 dianas (figura 326).

La obtención de la forma compleja del submarino en general, o de algunas

Figura 326. Distribución de dianas naturales en uno de los laterales de El Peral. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.



zonas en particular como popa, hélices o la cabina de torre, hicieron necesario el apoyo en este gran número de puntos (figura 327).

El intento de levantamiento, con trabajo de procesado de PhotoScan de forma automática de hasta 3 días, con resultados finales erróneos (caras completamente planas), hacen necesaria la labor de búsqueda y marcado manual de las señas de identidad en los lugares más problemáticos y la elaboración de máscaras

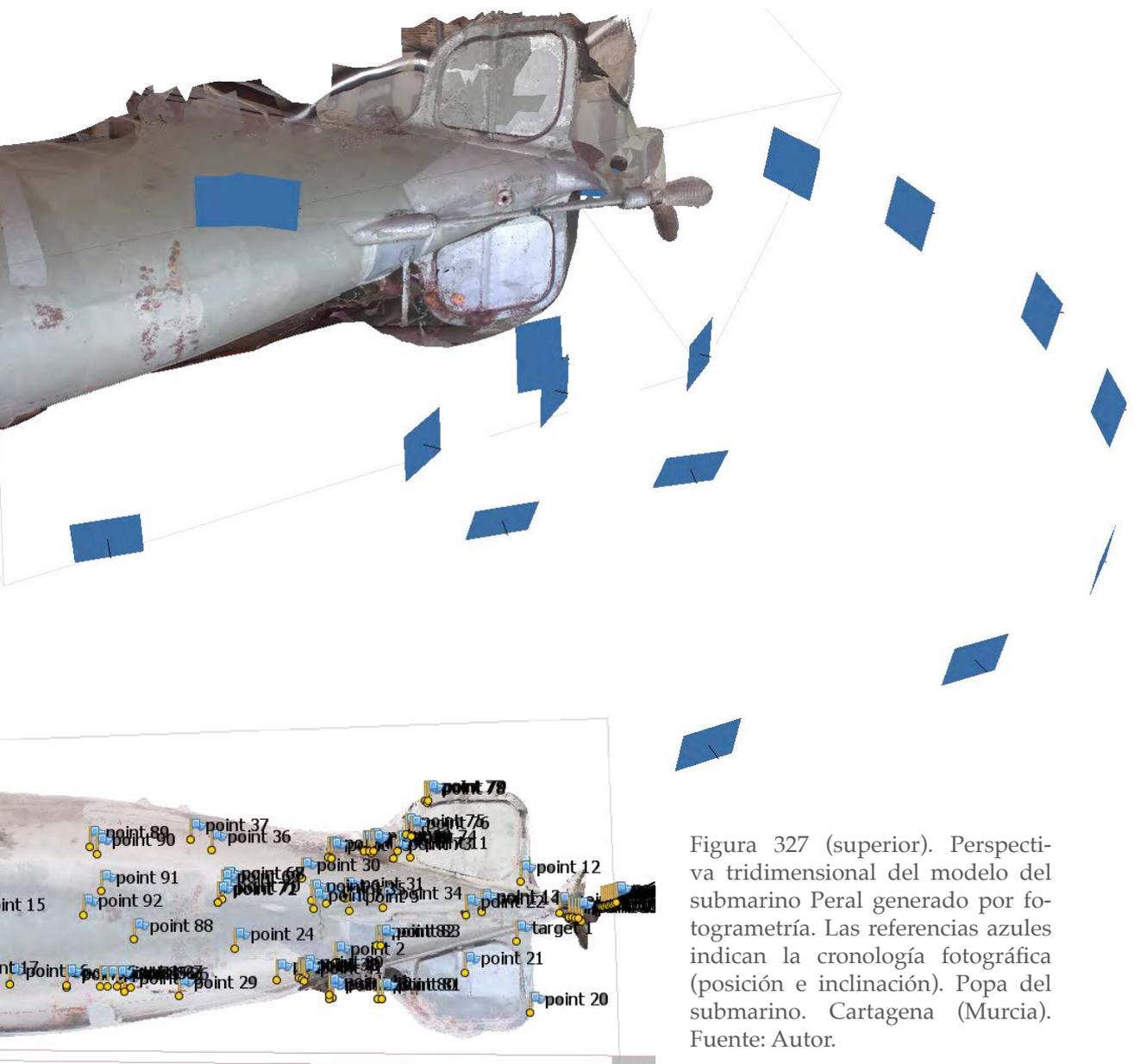
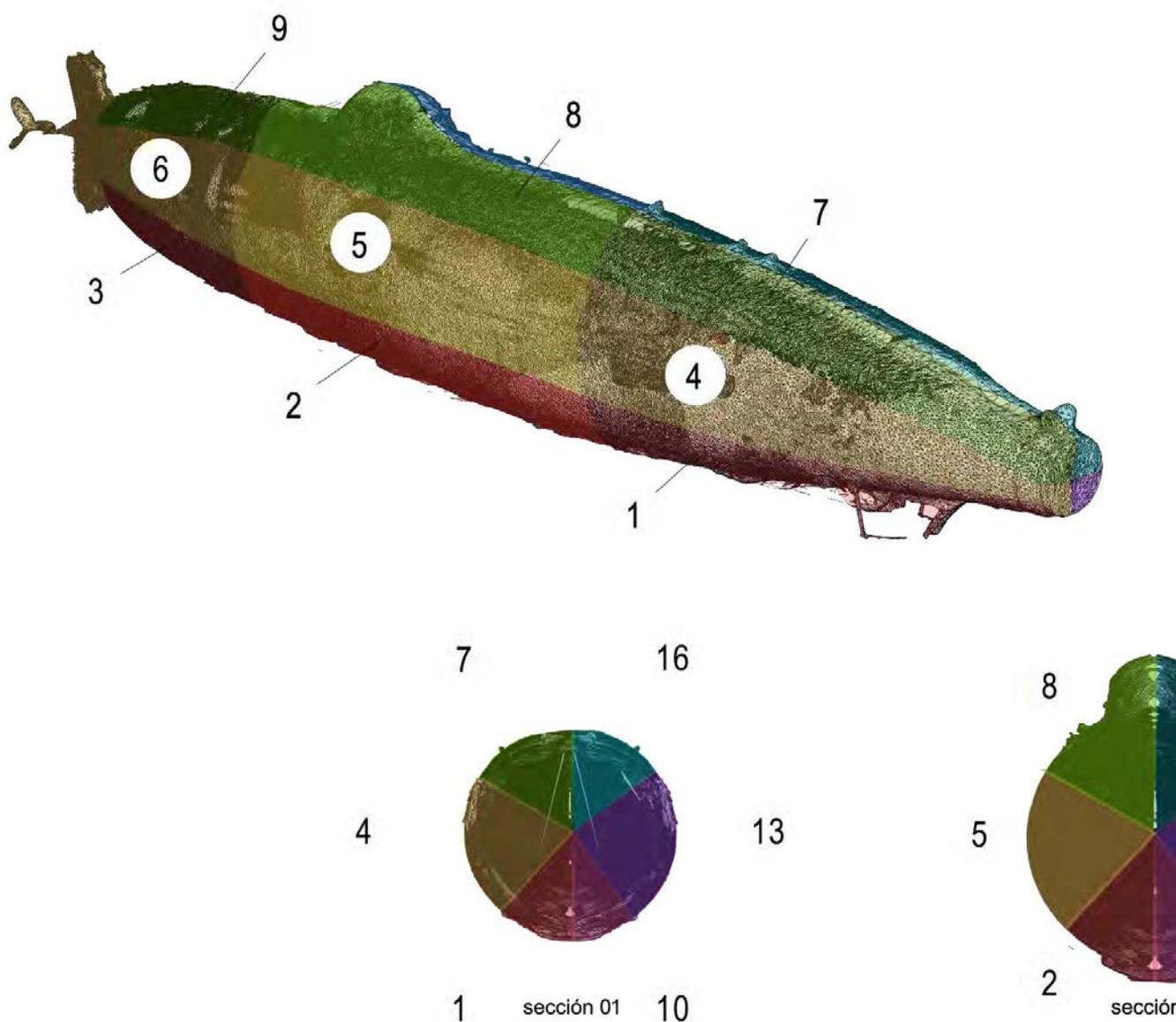


Figura 327 (superior). Perspectiva tridimensional del modelo del submarino Peral generado por fotogrametría. Las referencias azules indican la cronología fotográfica (posición e inclinación). Popa del submarino. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

que oculten todo aquello que aparece en las fotografías y no forma parte del submarino.

Con el equipo informático y el software limitado en potencia (trabajamos con 629 fotografías totales en formato .tiff con peso medio de 24 Mb.), se hace necesario dividir el submarino en porciones, por tramos, tanto para el lado más próximo al cerramiento, como para el interior de la nave. De esta forma, se realiza el trabajo en un mismo documento, pero con partes independientes, en concreto 18 porciones (figura 328).



Por medio del software fotogramétrico, se procede al maclaje de cada parte con su correspondiente e inmediata fracción contigua.

Realizada la relación entre porciones, y obtenida la malla con detalle fotográfico de 16.254.447 puntos, se atribuye una escala al modelo a partir de las medidas de referencia tomadas in situ y se procede al levantamiento de alzados generales, de detalle, secciones, cortos del modelo 3D en formato vídeo, así como modelos que sirvan de apoyo documental.

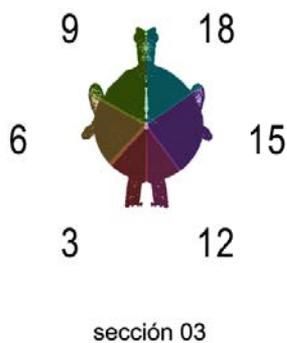
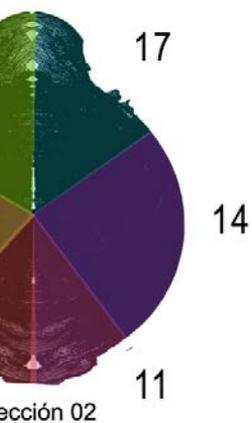
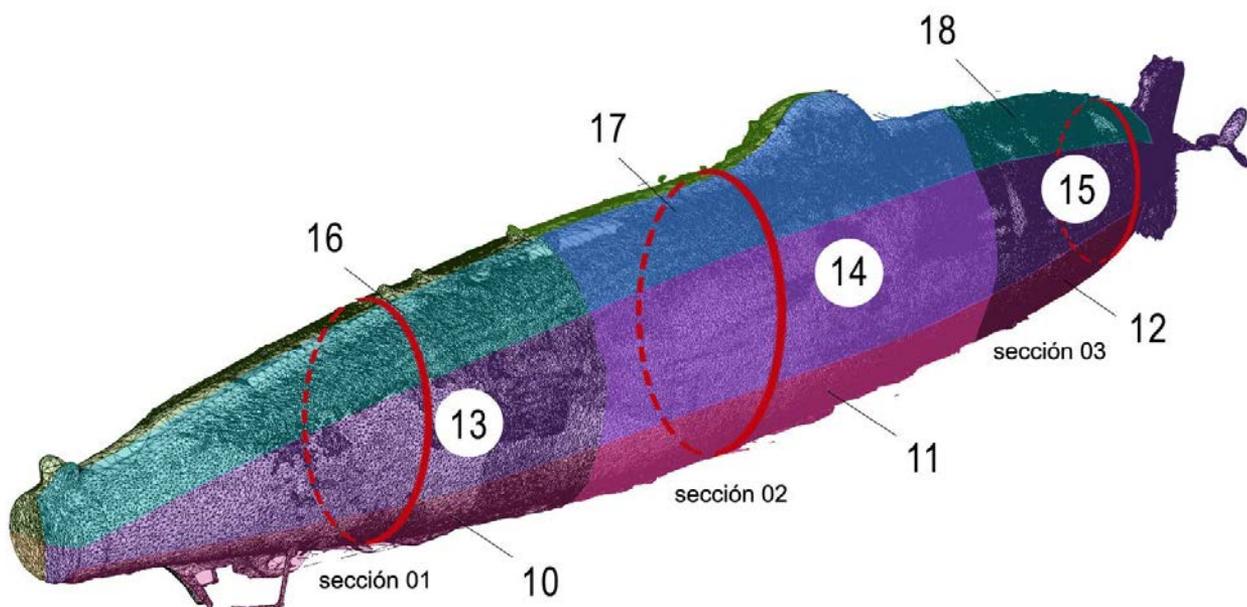


Figura 328. Correlación y posición 1. Trabajo de levantamiento. Modelo 3D generado por fotogrametría. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 329. Correlación y posición 2. Trabajo de levantamiento. Modelo 3D generado por fotogrametría. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 330. Correlación y posición 3. Trabajo de levantamiento. Modelo 3D generado por fotogrametría. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

A continuación, y haciendo uso de las herramientas de PhotoScan, ejecutamos secuencialmente los pasos descritos en el apartado de metodología relativos a la construcción de modelos 3D basado en técnicas de SfM. Este trabajo deriva en:

Actividad	Requerimiento	
	Alzado interior general	Alzado exterior general
Nº de fotografías	86	50
Nube dispersa	24.542	14.814
Flujo de trabajo		
Nube densa	15.005.366	8.724.050
Malla poligonal	3.001.073	1.744.809
Texturizado	Si	Si
Tiempo de procesado	5 horas	4 horas
	7 minutos	12 minutos
	2 segundos	25 segundos
Uso de máscaras	Si	No

Tabla 029. Tabla resumen por zonas de actuación fotogramétrica. Fuente: Autor.

El alto nivel de ruido presentado durante la elaboración de la nube de puntos densa requiere emplear la precisión alta o extra alta del flujo de trabajo correspondiente haciendo así que no sea necesaria la limpieza de éstos y, con ello, evitar la pérdida de información que convertiría al método en no conveniente para modelos en los que la búsqueda sea la exactitud geométrica y detallada.

#### 4.4.2.5. Resultados: documentación, adecuación y optimización

Partiendo de que resulta imprescindible proceder con el mismo rigor en todas las fases de una intervención, tanto en aquellas que, de inicio, se entienden



Figura 331. S.A.R. el Rey Felipe VI (en aquel momento Príncipe de Asturias D. Felipe de Borbón y Grecia) preside el acto de inauguración de la Sala Isaac Peral durante los actos conmemorativos del 125 aniversario de la botadura del submarino Peral. 12 de septiembre de 2013. Autor: Abel F. Ros.

como científicas, como en las que afectan a la conservación, divulgación, restitución, el diseño y la realización de una musealización, se hace forzoso acometer este último tramo con procedimientos y herramientas que así lo sean.

La promoción del patrimonio ha tomado, en los últimos años, infinidad de vertientes sustentadas en las herramientas y medios informáticos y electrónicos. El concepto tradicional de museo, antropológico, tienen como objetivo transmitir conocimientos a la sociedad en general no siendo necesario ser un especialista del tema para comprender lo que allí se expone.

Tal y como reseña el ICOM<sup>71</sup> o la Ley de 25 de junio del Patrimonio Histórico Español en su artículo 59 epígrafe 3º, son los museos quienes adquieren, conservan, investigan, comunican y exhiben, para fines de estudio, educación y contemplación, conjuntos y colecciones de valor histórico, artístico, científico y técnico o de cualquier otra naturaleza cultural.

---

71 International Council of Museums.



Figura 332. Panorámica de la zona de acceso al Museo Naval de Cartagena desde la Sala Peral. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

La divulgación, no ya sólo posible por medio de entornos “permanentes” (como así lo reseña la normativa antes citada), puede producirse en forma de folletos, visitas guiadas, conferencias, programas de televisión o radio, espacios web, revistas, galerías digitales, salas (figura 332), maquetas, ilustraciones, fotografías, redes sociales (cocreación de contenidos<sup>72</sup>), holografía, entornos tridimensionales, animaciones, impresiones 3D, espacios virtuales, realidades ampliadas y un largo etcétera ampliamente recogido en el capítulo 3.4 de esta tesis.

De aquí, y ante la amplia gama de posibilidades y la no existencia de referencias normativas en cuanto a contenidos mínimos documentales en fase de gestión, se incluyen las necesidades concretas (tabla 030) de esta musealización que fueron requeridas, resueltas y empleadas como archivo gráfico (columna izquierda) y documentación vinculada a ella (columna derecha):

<sup>72</sup> Uso divulgativo que, por ejemplo, hace el Museo Nacional del Prado de las Redes Sociales donde los museos ya no son los únicos generadores de contenidos, sino que los usuarios de las redes sociales también pueden participar en esa elaboración, pudiendo esta colaboración conscientemente o, y aquí viene la novedad, de forma totalmente involuntaria [<http://www.comunicacionpatrimonio.net/tag/divulgacion-del-patrimonio/>].



Documentación gráfica exigible	Documentación gráfica vinculada
Expositores y cartelería	Planimetría de exposición
Proyección audiovisual	Modelo tridimensional
Reportaje fotográfico	Fotografías generales, perspectivas y de detalle para cartelería
Infografía	Vídeos ilustrativos

Tabla 030. Documentación gráfica en fase de musealización de El Peral. Fuente: Realizada por el autor de acuerdo con los requerimientos del equipo técnico de la intervención.

Así, y dando respuesta a la documentación gráfica empleando la fotogrametría digital, obtenemos estos resultados:

- Planimetría de exposición (figuras 333, 334 y 335)

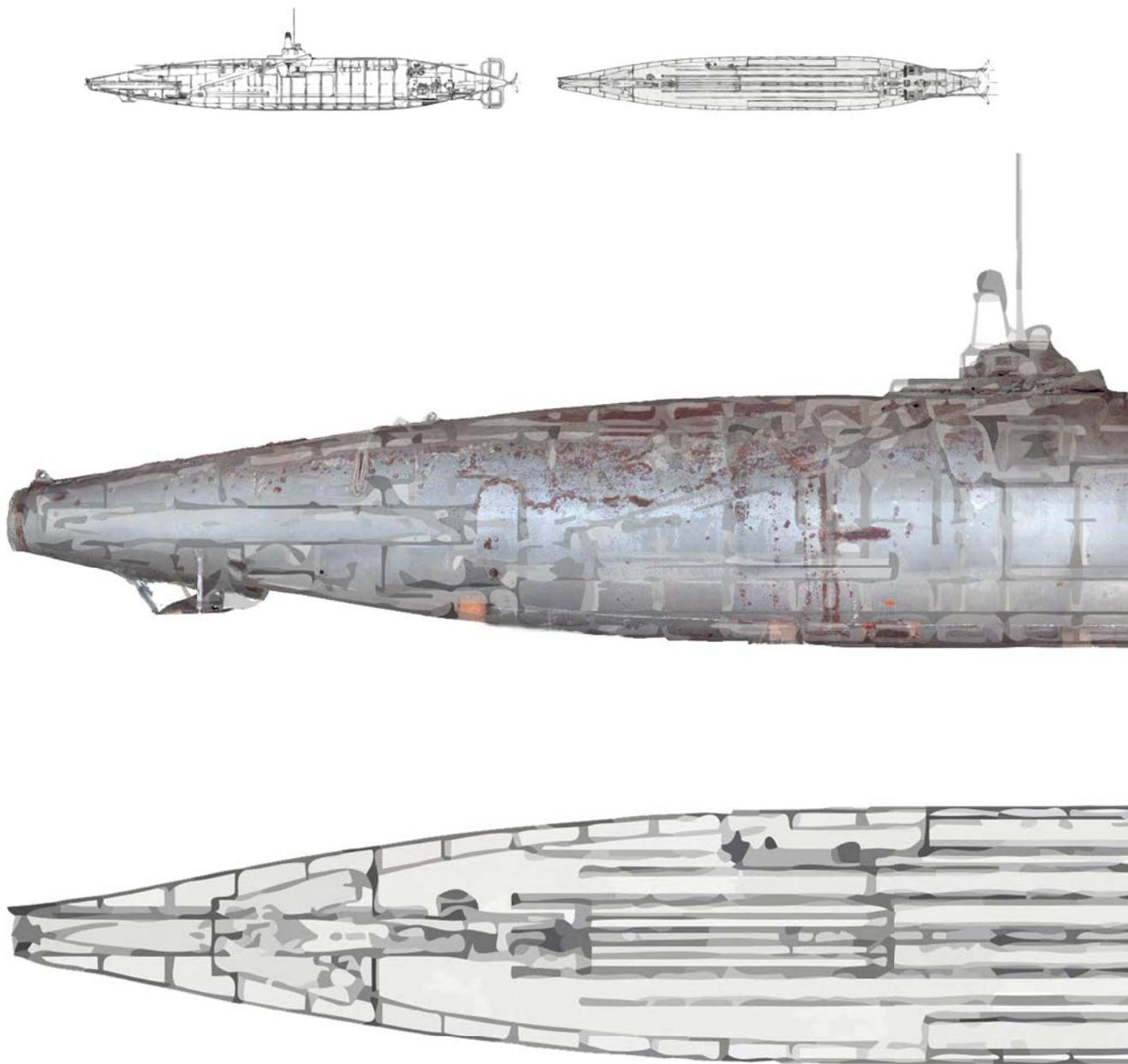


Figura 333 (superior). Planimetría submarino. Fuente: Archivo Base Naval Cartagena.

Figura 334 (inferior). Collage del alzado fotogramétrico para obtención de planimetría de exposición y musealización. Fuente: Autor.

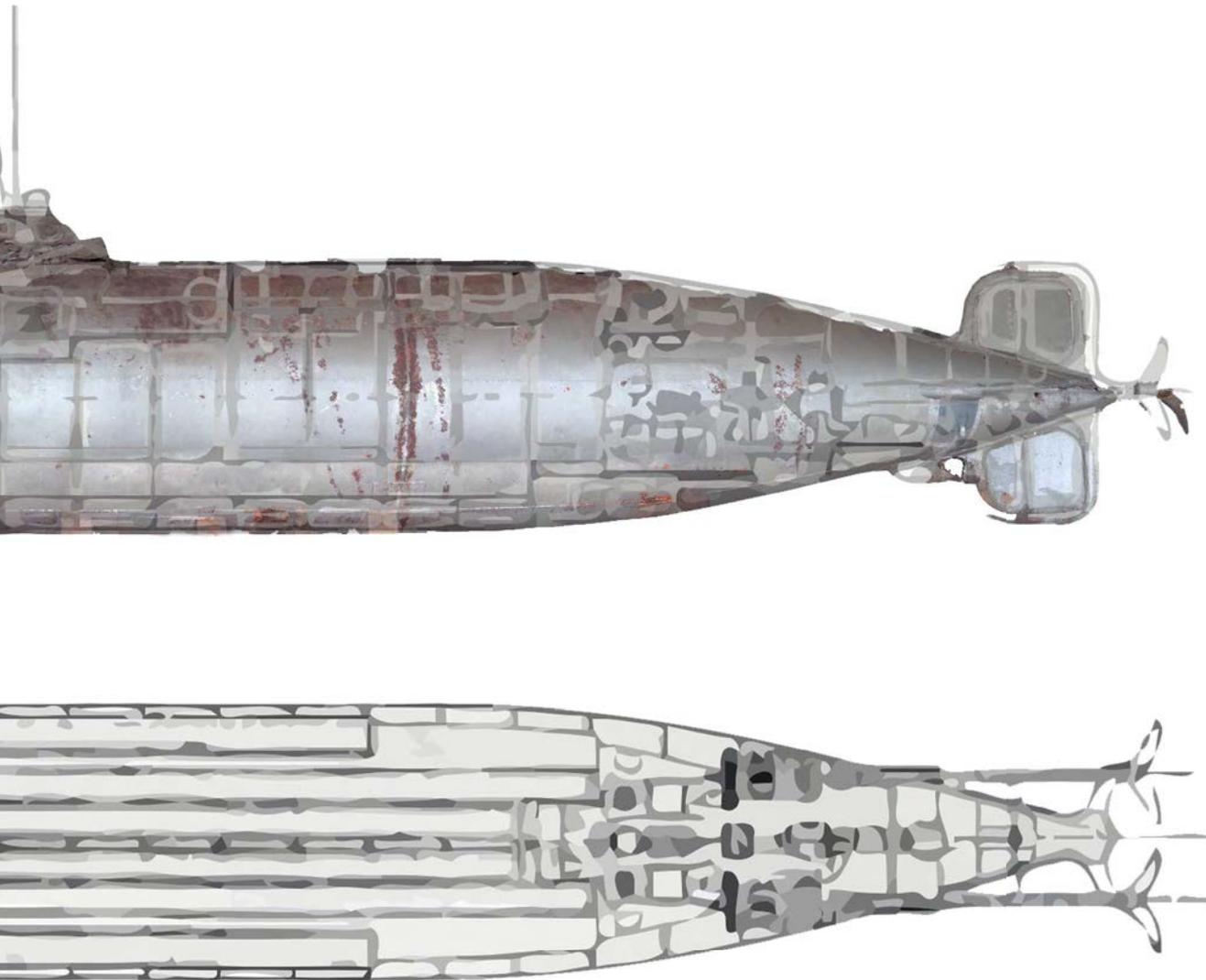


Figura 335 (superior). Firma del convenio de colaboración entre la Fundación Repsol y la Fundación Museo Naval. Fondo planimetría Peral. Fotografía Abel F. Ros.

- Vídeos ilustrativos (figuras 336 - 340)



Figura 336 (superior). Vídeo subacuático para exposición generado con el modelo tridimensional fotogramétrico. Materialidad añadida en postproducción. Sala Isaac Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

Figura 337 (inferior izquierda). Vídeo subacuático, vista lateral, para exposición generado con el modelo tridimensional fotogramétrico. Materialidad añadida en postproducción. Sala Isaac Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

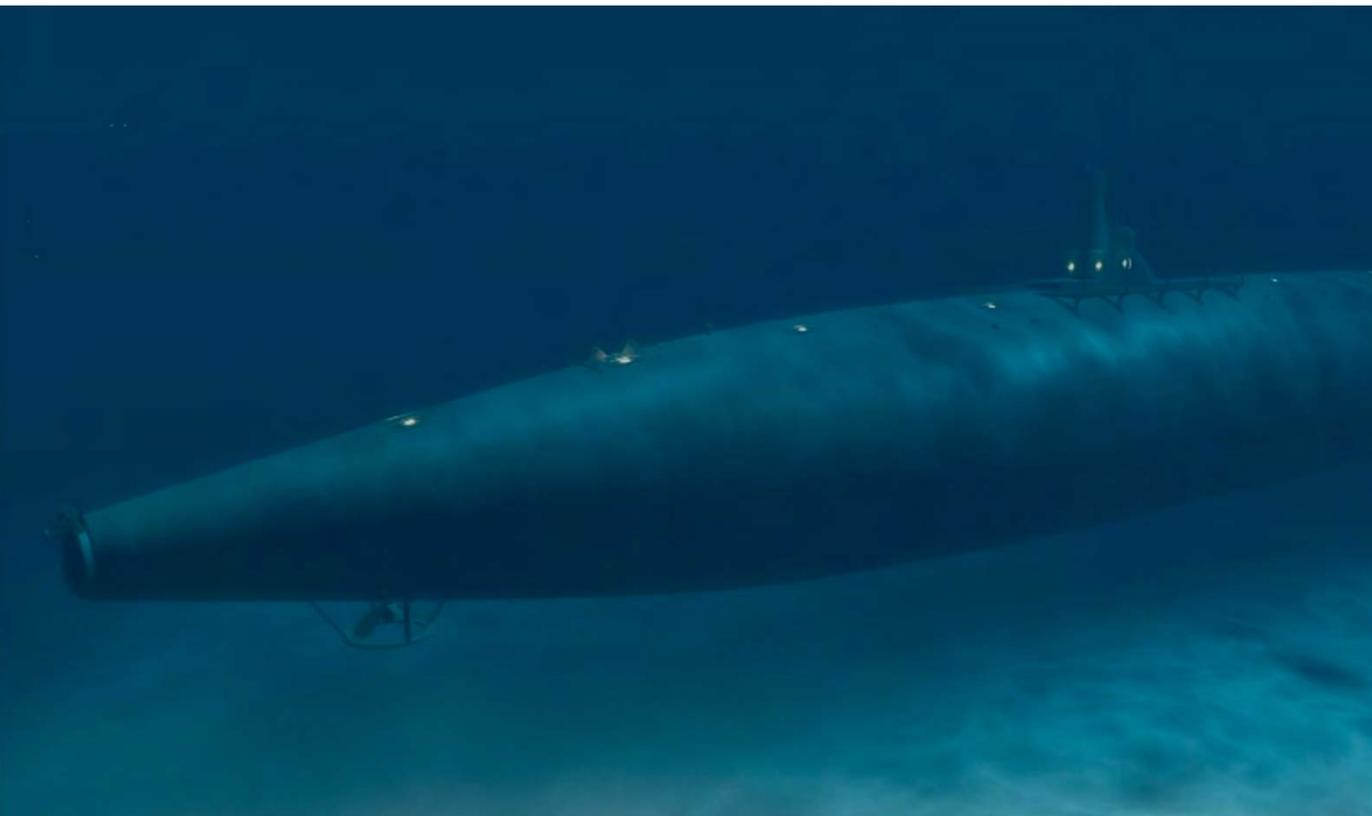


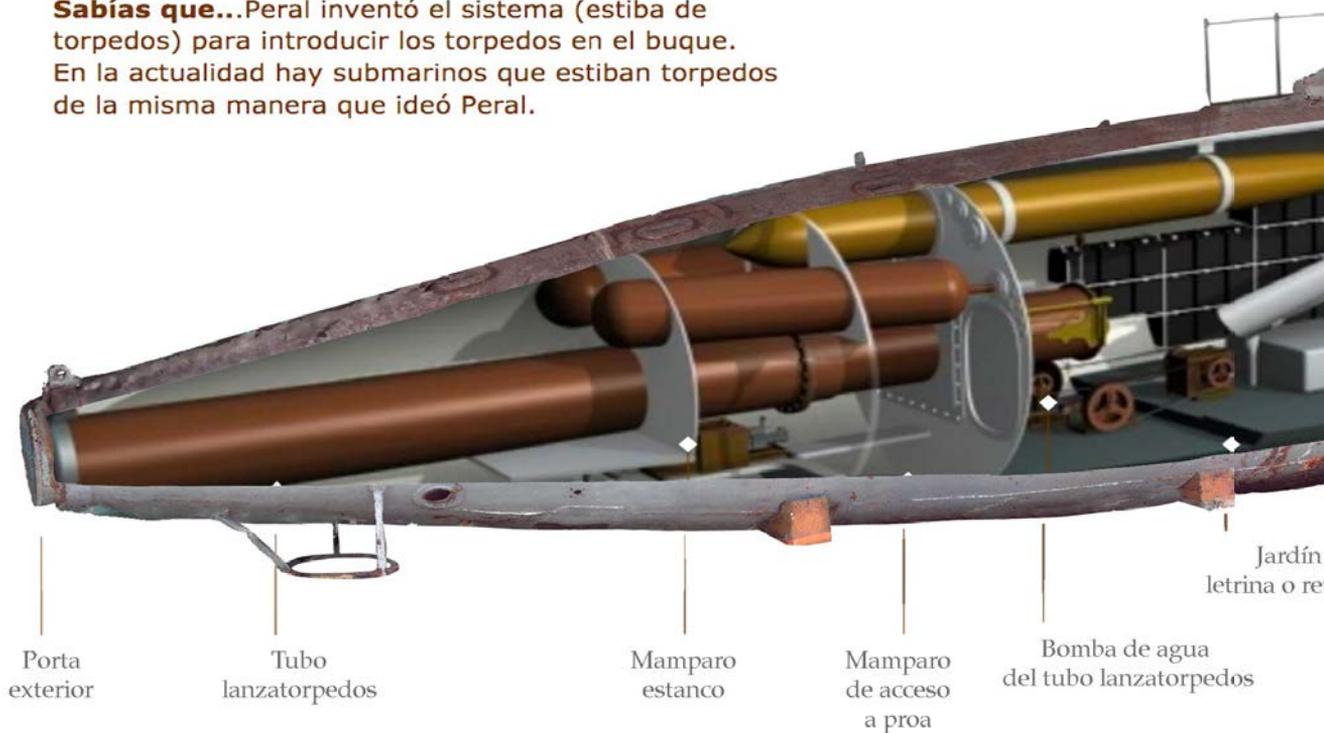
Figura 338 (superior). Vídeo subacuático para exposición réplica idealizada similar a la volumetría real. Materialidad irreal. Sala Isaac Peral (Cartagena). Fuente: Juan C. Sánchez.  
Figura 339 (inferior). Fotomontaje del submarino Peral obtenido con fotogrametría. Imagen ilustrativa en puerto marítimo. Render Keyshot 4. Sala Isaac Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

## PROA

### Tubo lanzatorpedos

Fue comprado en Alemania a la Berliner Maschineubau Actien Gesellschaft y era de acero. En aquella época los tubos lanzatorpedos eran instalados en los barcos, y Peral fue el primero en montarlo en el interior de un submarino.

**Sabías que...** Peral inventó el sistema (estiba de torpedos) para introducir los torpedos en el buque. En la actualidad hay submarinos que estiban torpedos de la misma manera que ideó Peral.



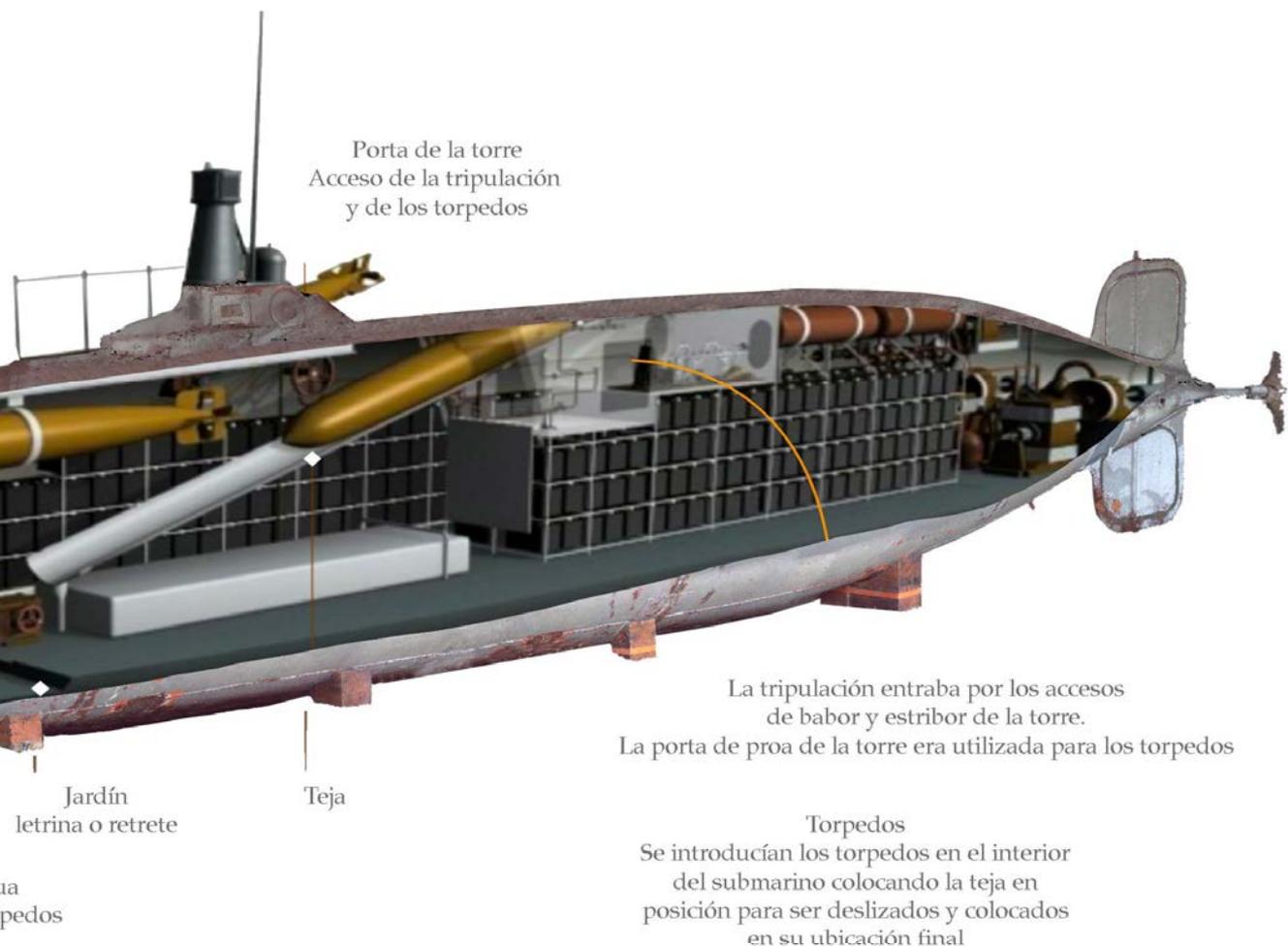


Figura 340. Modelo tridimensional para demostración de uso y constitución. Coordinación y desarrollo de Contenido Multimedia. Sala Isaac Peral, (Cartagena). Fuente: Autor (exterior) y Juan C. Sánchez (interior).

- Modelo tridimensional (figuras 341, 342 y 343)

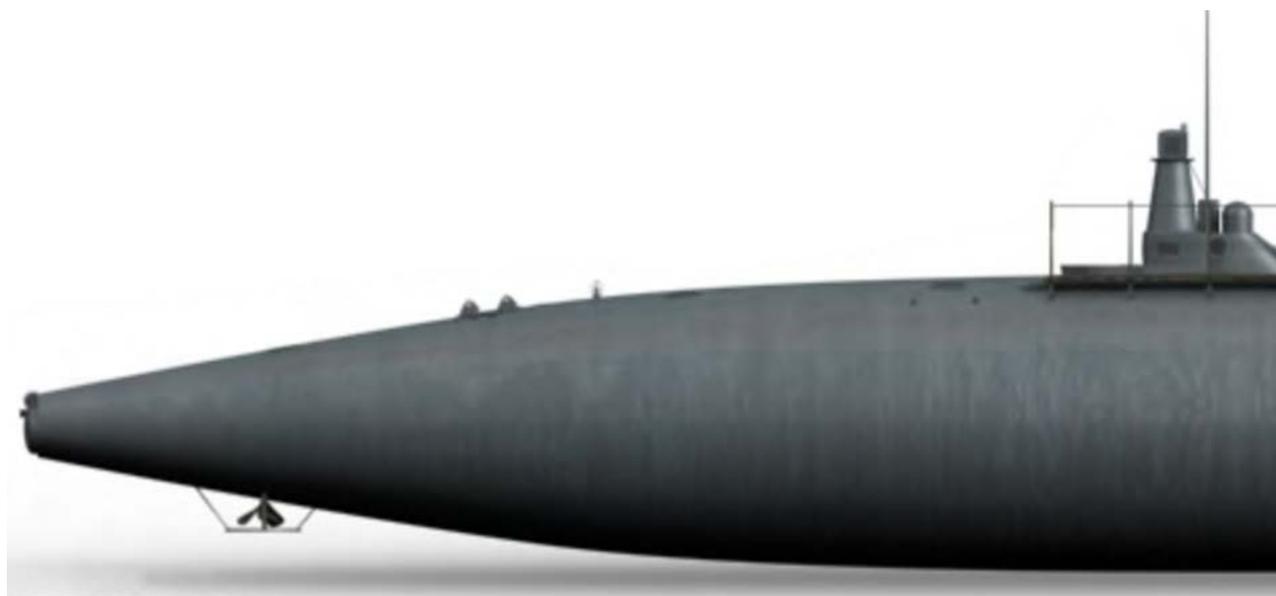


Figura 341 (superior izquierda) y figura 342 (superior derecha). Levantamiento fotogramétrico. Documentación gráfica recopilada en la etapa de restauración y que sirve de base para describir a los visitantes la intervención realizada y su cronología. Sala Peral (Cartagena). Fuente: Autor.



Figura 343. Levantamiento y materialidad idealizada. Comparativa fotorrealidad y simulación. Sala Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

- Fotografías generales, perspectivas y de detalle para cartelería (figura 344)



Figura 344. Collage fotográfico. Levantamiento fotogramétrico. Documentación gráfica recopilada en la etapa de restauración y que sirve de base para describir a los visitantes la intervención realizada y su cronología. Sala Peral (Cartagena). Fuente: Autor.



A continuación (tabla 031) se detalla una comparativa de resultados temporales de trabajo en gabinete, en torno a la documentación requerida en fase de musealización (figura 345), confrontando los rendimientos de trabajo obtenidos por la fotogrametría digital con respecto a las metodologías tradicionales de modelado tridimensional e infografía.

Requerimiento	Metodología tradicional	Fotogrametría
Planimetría de exposición	15 horas	45 minutos 17 segundos
Proyección mural de vídeos	8 horas	8 horas
Modelo tridimensional**	45 horas	7 horas 19 minutos 27 segundos
Fotografías generales*, perspectivas y de detalle para cartelería	45 minutos	1 hora 26 minutos 54 segundos

\* Se corresponde con el tiempo de trabajo de campo para la toma integral de las fotografías del levantamiento por fotogrametría digital.

\*\* Se corresponde con el tiempo de procesado en gabinete para el trabajo fotogramétrico.

Tabla 031. Tabla comparativa de rendimientos entre los sistemas de trabajo tradicionales efectuados en esta misma etapa y los resultados obtenidos del empleo de la fotogrametría. Fuente: Autor.

Figura 345 (derecha). La recuperación del submarino es un gran proyecto cultural que ha permitido potenciar la identidad social de un territorio como un elemento patrimonial y símbolo para los ciudadanos que participan en todas las actividades que se programan. Autor: Abel F. Ros.







## **5** DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente tesis, conforme a su estructura y tal y como queda recogido en el capítulo 1 de Introducción y Objetivos, se despliega en un documento dividido en cuatro bloques:

1. Introdutorio, compuesto por el marco teórico y que sirve de cimiento a la investigación fijando aspectos justificativos, conceptuales e históricos.
2. Procedimental, donde se desarrolla, desglosado en etapas, el protocolo de actuación propuesto y llevado a cabo en la investigación.
3. Práctico, compuesto por 4 casos de estudio que se desarrollan de forma paralela a las fases de intervención integral sobre el patrimonio de Reha-biMed y que permiten una comparación y examen detallado de las etapas descritas en el bloque anterior, su adecuación a las exigencias documentales de cada fase y la relación de tiempos alcanzados en comparación con los medios tradicionales para estos mismos supuestos prácticos.
4. Discusión de resultados, futuras líneas de investigación, conclusiones de la investigación, bibliografía y anexos.

Esta tesis, por tanto, presenta una doble naturaleza, por un lado una parte teórica y por el otro una parte operativa. El desarrollo de ésta se presenta como un estudio detallado sobre las posibilidades de empleo, dentro del marco de necesidades documentales y del entorno legal que lo regula (2.1), de la fotogrametría en cada una de las fases de intervención sobre el patrimonio arquitectónico, arqueológico e industrial en torno a un procedimiento de actuación integral sobre los mismos.

Los cuatro apartados (4.1.3, 4.2.3, 4.3.4 y 4.4.2) de casos de estudios ensayados integran a las etapas de procedimiento empleadas en la investigación y demuestran cómo, por medio de éstos, se puede obtener la integridad documental necesaria en cada fase, manteniendo y/o mejorando el alto nivel de detalle requerido en aras de un método menos especializado y más económico y rápido.

### 5.1. DISCUSIÓN TEÓRICA DE LOS PROCEDIMIENTOS

Se ha utilizado como técnica la fotogrametría digital por tratarse de, como se ha puesto de manifiesto en esta tesis, una herramienta que ofrece soluciones de procesado de datos que redundan en la obtención final de documentación útil, objetiva, rápida (disminuyendo considerablemente el trabajo de campo), económica, no especializada, multitemporal, difundible, almacenable y actual.

Podemos concluir que, en torno a los procedimientos fotogramétricos digitales se refiere, gracias al soporte de las nuevas tecnologías y los software específicos de restitución fotogramétrica, se pueden ejecutar, en la actualidad, complejos trabajos documentales, en periodos cortos de tiempo y con equipos auxiliares mínimos (y en algunos casos inexistentes) consiguiendo abaratar costes y generar modelos bi/tridimensionales precisos, rigurosos y detallados que nos doten de una amplia información documental del bien sobre el que actúa.

Como se ha puesto de manifiesto con esta tesis, con medios como una cá-



mara digital habitual y comercial, un trípode en los casos en los que las condiciones del entorno o bien patrimonial lo requieran y un equipo de medición directa (flexómetro de mano, por ejemplo) o indirecta (distanciómetro láser, estación total, etc.) para recabar las medidas de referencia y poder escalar el modelo generado, tendremos suficiente instrumental como para acometer la gran mayoría de las intervenciones sobre el patrimonio y acompañar, documentalmente, la intervención en todo el proceso.



Figura 346. Instrumentación de trabajo de referencia para la tesis en levantamientos fotogramétricos digitales. Fuente: Autor.

Además, y al tratarse de un equipo de fácil manejo y transporte (figura 346), podemos afirmar que nos encontramos ante una herramienta, la fotogrametría, versátil y a considerar en cualquier trabajo de levantamiento sobre el patrimonio.

Ya refiriéndonos al trabajo fotogramétrico en concreto y considerando las indicaciones del capítulo 3, en sus apartados 3.2 y 3.3 que dividían el proceso de

restitución fotogramétrica en dos partes complementarias, aunque diferenciadas, como son: el trabajo de campo y el trabajo de gabinete. El primero con la finalidad de recopilar datos sobre el patrimonio en estudio y, el otro, valiéndose de la información del anterior, permitir documentar y catalogar digitalmente las aportaciones que la fotogrametría digital nos ofrece a la hora de inventariar nuestro patrimonio histórico.

Como reflexión teórica podemos destacar que:

- A nivel fotogramétrico.

La fotogrametría puede emplearse como herramienta central en las labores de documentación del patrimonio siempre que se quiera conseguir información de calidad, extensa y precisa, independientemente de que, en ocasiones, ésta requiera de apoyo expreso en métodos tradicionales ante la necesidad de, por ejemplo, y tal y como se ha ido esbozando en el capítulo 4 de esta tesis, georreferenciar íntegra o parcialmente aquello sobre lo que intervenimos.

Aun así, y dado el enfoque que está adquiriendo la sociedad y su forma de interactuar con el entorno (apartado 3.4), la fotogrametría es ya una realidad que avanza paralelamente con las técnicas más novedosas haciendo más fácil alcanzar el cumplimiento de esas necesidades sociales, profesionales, investigadoras y documentalistas.

- A nivel de software, Agisoft PhotoScan.

Como se desarrollado en el capítulo 3.3.1, este software de apoyo, a día de hoy, se constituye, por su versatilidad y prestaciones, en un excelente apoyo para cualquiera que necesite trabajar sobre la realidad, captándola, recogéndola y reproduciéndola fielmente en las tres dimensiones del espacio.

Todos los procesos de cálculo están integrados y automatizados, su interfaz (renovada en su versión 2016) es muy intuitiva y minimalista (figura 347) y, además, permite exportar los resultados conseguidos a los principales formatos comerciales especializados (.obj, .dxf, .dwf, .dae, .tiff, etc.) y/o estándar (.pdf, .jpg, etc.)

- A nivel de aplicación de la fotogrametría en levantamientos documentales de ámbito general.

Fruto de las experiencias desarrolladas, citadas en el apartado 1.1, podemos afirmar que, la fotogrametría, es un útil aplicable en todos aquellos casos en

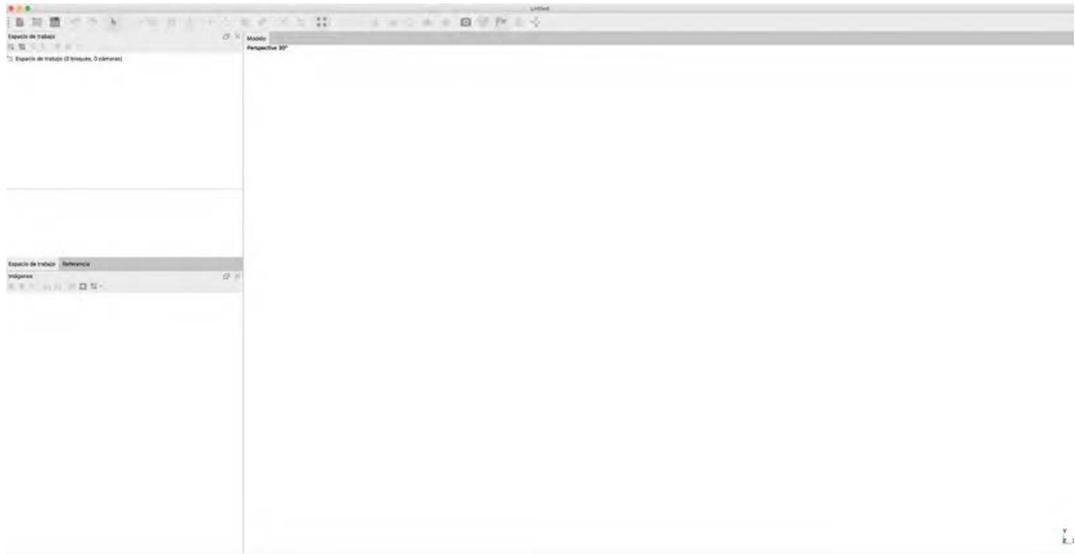


Figura 347. Interfaz renovada de Agisoft PhotoScan. Captura de pantalla para versión 1.3.1. Fuente: Autor.

los que, contando con la instrumentación adecuada a la situación particular del trabajo, se demanden volúmenes, superficies, dimensiones y texturas (figura 348).

En torno a esta necesidad de instrumentación, se confirma que los drones son el utensilio perfecto para salvar los problemas de altura que genera efectuar fotografías a nivel de suelo o cuando las superficies sobre las que hay que trabajar sean extensas (figuras 349 y 350).



Figura 348. Levantamiento fotogramétrico sobre personas. Lorca (Murcia). Fuente: Autor.



Figura 349 (superior derecha). Modelo volumétrico complejo tridimensional generado con fotogrametría digital terrestre. Iglesia de Santa María del Castillo, Cervera de Pisuerga (Palencia). Fuente: Autor.

Figura 350 (superior izquierda). Modelo volumétrico complejo tridimensional generado con fotogrametría digital aérea. Alquería-Casa Palacio de Lo Marabú, Rojales (Alicante). Fuente: Autor.

Figura 351 (superior izquierda). Levantamiento fotogramétrico sobre personas. Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 352 (inferior izquierda). Nube de puntos densa dentro de la interfaz de Agisoft PhotoScan. Levantamiento de bustos humanos. Fuente: Autor.

Figura 353 (central izquierda). Malla renderizada de busto humano femenino generado con fotogrametría digital antes de su impresión 3D. Fuente: Autor.

- A nivel de aplicación de la fotogrametría en la documentación de bienes patrimoniales.

La fotogrametría es, como se ha indicado en el párrafo anterior (figuras 351 - 354) y tratado en el capítulo 4, una herramienta útil y completa para el trabajo documental a desarrollar en todas las fases de intervención sobre el patrimonio. Aun suponiendo su empleo un trabajo metódico y dedicado, los resultados satisfactorios, en más de medio centenar de intervenciones directas, nos facultan a confirmar que estamos ante una técnica con la que trabajar tanto sobre bienes arquitectónicos, como arqueológicos o industriales.



Derivado de nuestro trabajo podemos concluir que este método y su empleo sobre el patrimonio se apoya en los siguientes principios:

- Los errores se incrementan conforme ampliamos el radio de trabajo. Cuanto más cantidad de fotografías pretendamos gestionar con el software fotogramétrico en un único flujo de restitución, más errores y de mayor rango aparecerán.
- A mayor cantidad de fotografías mayor será la resolución obtenida del bien patrimonial pero, más complejo, tedioso, requerido de recursos (tabla 032) y lento el proceso de orientación. En caso de ser inevitable la carga de fotografías en gran cantidad siempre es recomendable dividir el proyecto en capas y, posteriormente, orientar esos bloques y fusionarlos (figura 355).

Nº de fotos	20 a 50	50 a 100	100 a 200	200 a 500
Calidad muy baja	de 100 Mb. a 300 Mb.	de 150 Mb. a 450 Mb.	de 300 Mb. a 1 Gb.	de 1 Gb. a 3 Gb.
Calidad baja	de 500 Mb. a 1,5 Gb.	de 750 Mb. a 2 Gb.	de 2 Gb. a 5 Gb.	de 4 Gb. a 12 Gb.
Calidad media	de 2 Gb. a 6 Gb.	de 3 Gb. a 9 Gb.	de 6 Gb. a 18 Gb.	de 15 Gb. a 45 Gb.
Calidad alta	de 8 Gb. a 24 Gb.	de 12 Gb. a 36 Gb.	de 24 Gb. a 72 Gb.	de 60 Gb. a 180 Gb.
Calidad extra alta	de 32 Gb. a 96 Gb.	de 48 Gb. a 144 Gb.	de 96 Gb. a 288 Gb.	de 240 Gb. a 720 Gb.

Tabla 032. Memoria RAM estimada como apropiada. Relación cantidad de fotografías - calidad de malla. Fuente: Autor de acuerdo con las recomendaciones de Agisoft.



Figura 355. Captura de pantalla de la interfaz de PhotoScan. Ejemplo de trabajo con capas/bloques aislados, referenciados (R) y fusionados. Fuente: Autor.

- A igualdad de rigor en la toma de medidas de referencia al escalado, se afirma que existe una igualdad de error dimensional entre los planos obtenidos por métodos tradicionales y los generados a través de la fotogrametría.
- La precisión métrica y posibilidad de escalado requiere, en todo caso, de un adecuado trabajo de recopilación de medidas en campo. Es vital tener en cuenta que, fruto de las labores fotogramétricas, nos encontramos ante un elemento tridimensional y cargado de detalles por lo que, las medidas, deberán estar perfectamente definidas y localizadas en los tres ejes del espacio (figura 356). Esta precisión exige estar asociada a, al menos, 4 puntos bien distanciados (mínimo un metro) de cada plano del modelo fotogramétrico sobre el que trabajemos para alcanzar una correcta orientación.
- Podemos localizar, posicionar y computar con exactitud elementos singulares en lugares de difícil acceso (figura 357).
- Un trabajo de campo perfectamente desarrollado es primordial para obtener un resultado de calidad.

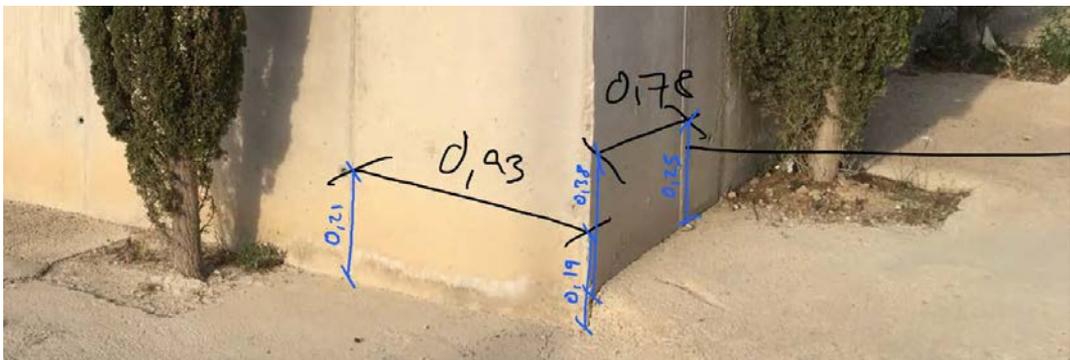


Figura 356. Croquis de campo para la toma de medidas de escalado referenciadas a los tres ejes del espacio. Polígono Industrial Molina de Segura, (Murcia). Fuente: Autor.

- Las condiciones ambientales y lumínicas del momento en que se realiza el trabajo de toma fotográfica en campo son determinantes (capítulo 3.2.1). Además, es necesario controlar los parámetros de longitud focal, nitidez, tiempos de exposición, solapes (3.2.3), distancias al objeto a fotografiar (3.2.4), etc. para alcanzar el nivel de detalle requerido en cada una de las fases de intervención.
- El levantamiento de bienes con acabados metálicos, brillos excesivos, expuestos a poca o mucha iluminación o con zonas inaccesibles (no foto-



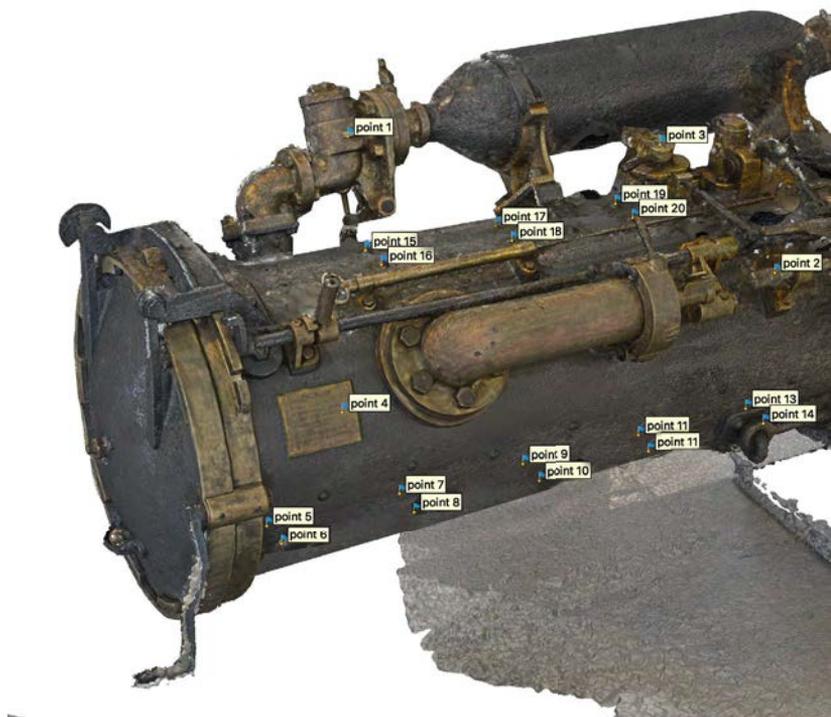
grafiables desde una o varias perspectivas) redundan en un incremento de trabajo de gabinete y, por consiguiente, un aumento temporal y de costes derivados (figura 358) y será necesario el uso, en campo, de dianas artificiales (3.2), puntos de luz artificiales, etc. y, en gabinete, de máscaras (3.3), tratamiento de imágenes, etc.

- Las imágenes tomadas en formatos crudos (3.2) como .raw o .tiff generan nubes de puntos más densas y de mayor calidad que las realizadas en formatos tradicionales (.jpeg, por ejemplo).

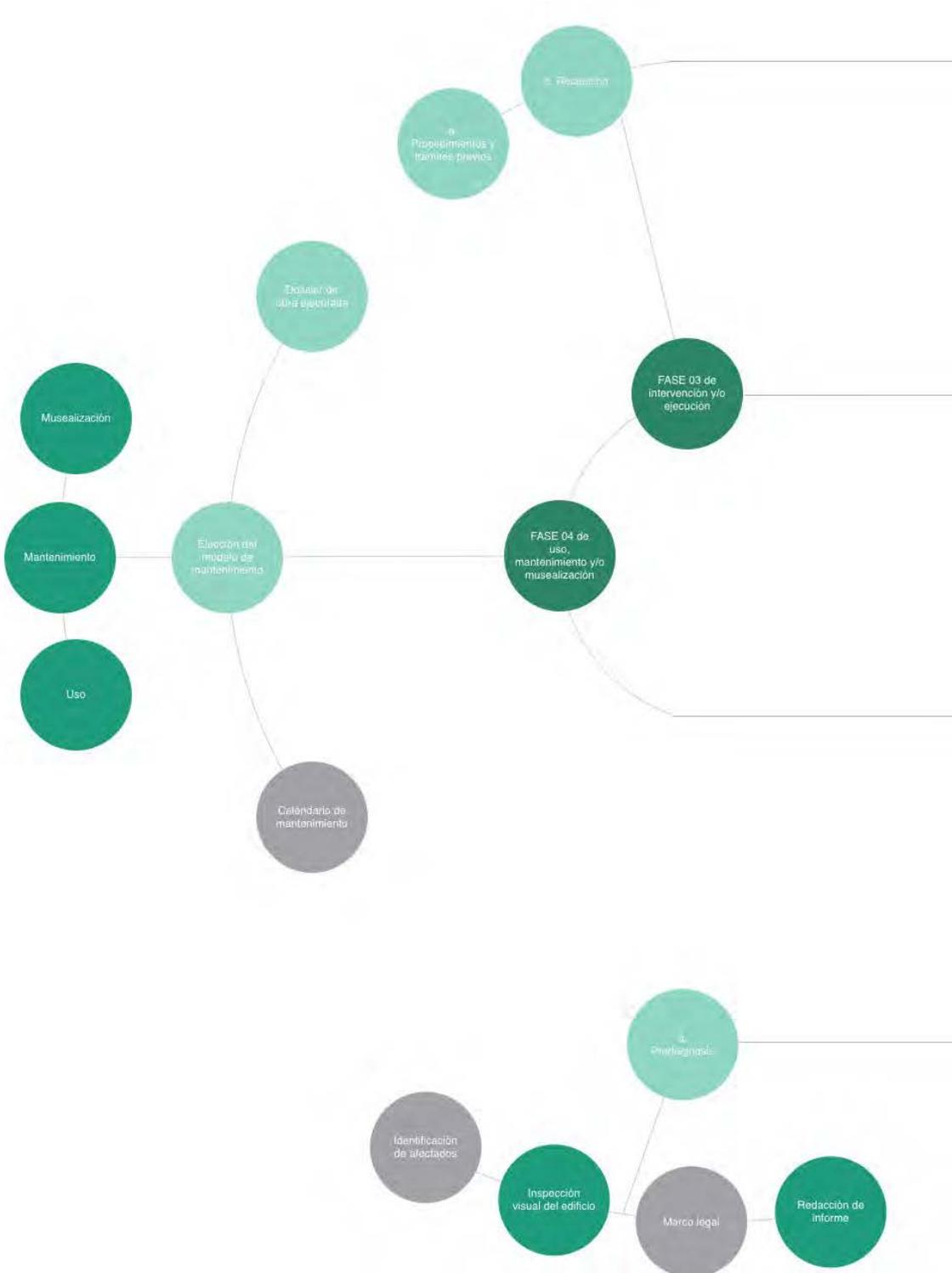
En consecuencia, se confirma que la fotogrametría digital es una herramienta ventajosa y rentable frente a otras que requieren de una amplia especialización y de trabajo multidisciplinar obligado, siendo aplicable, por un lado, en el 84% (figura 359) del proceso integral de intervención sobre el patrimonio en cuanto a procedimientos se refiere donde, de los 29 ítem de actuación, a los que se hacía referencia en el capítulo 3, de un proceso integral, la fotogrametría digital

Figura 357 (superior izquierda). Localización, medida y valoración de daños sin mantener contacto directo con ellos. No necesidad de medios auxiliares de elevación. Puerta de las Armas, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 358 (inferior derecha e izquierda). Collage fase de levantamiento por fotogrametría digital de tubo lanzatorpedos en interior y modelo 3d generado. Necesario el uso de luz artificial, dianas imantadas y trípode. Museo Naval de Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.



resuelve 25 de ellos y, por otro lado, del 100% en el ámbito documental exigido por la normativa y las recomendaciones aportando, en algunos casos, grafía más allá de la imprescindible/mínima.



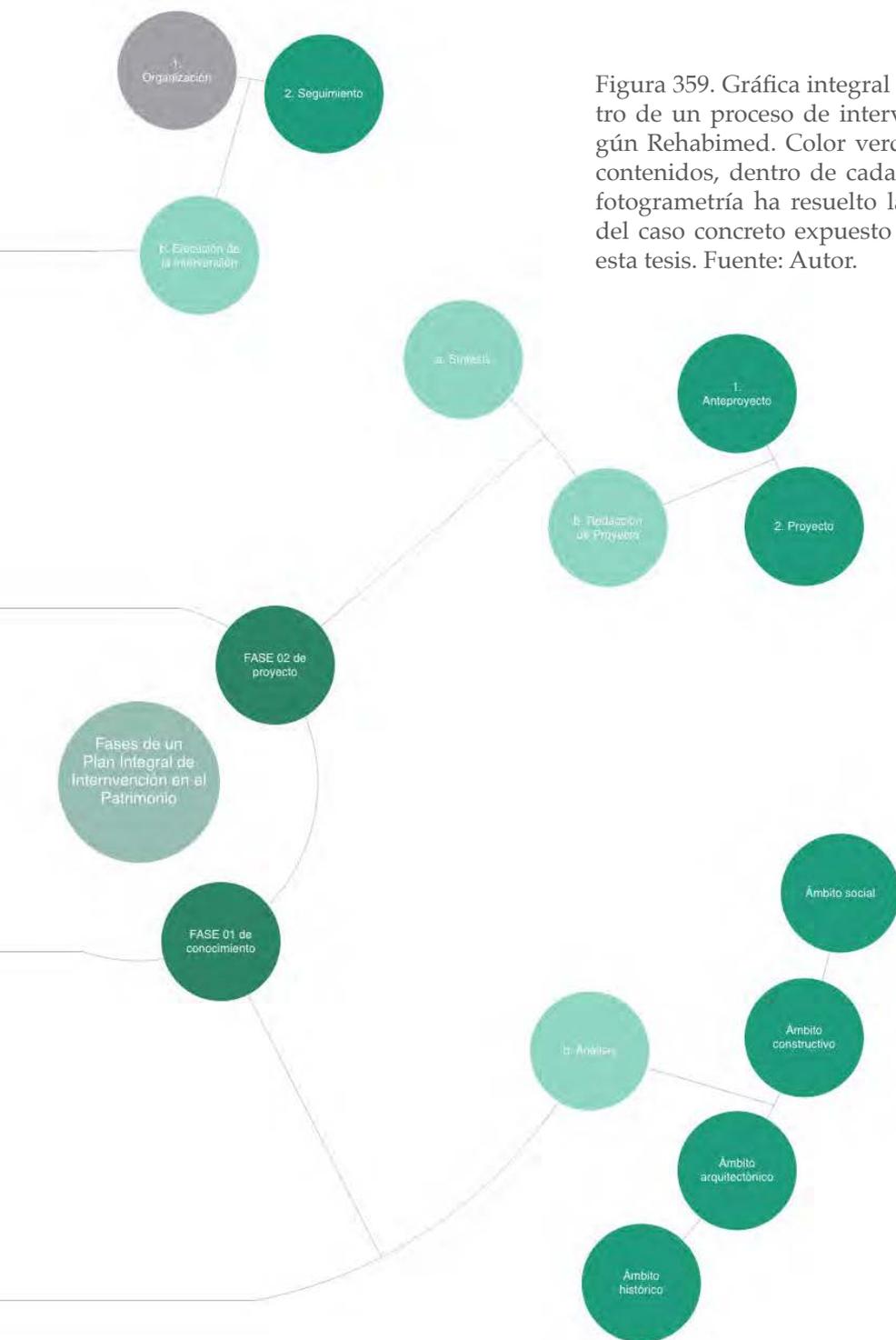


Figura 359. Gráfica integral de parámetros dentro de un proceso de intervención integral según Rehabimed. Color verde indica apartados contenidos dentro de cada fase, en los que la fotogrametría ha resuelto la necesidad gráfica del caso concreto expuesto en el capítulo 4 de esta tesis. Fuente: Autor.

## 5.2. GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

La viabilidad del empleo de la fotogrametría sobre el sistema integral de intervención sobre el patrimonio desglosado en fases que se ha desarrollado en el apartado 4 de esta tesis, está avalado por los resultados de las aplicaciones prácticas presentadas.

El objetivo fundamental de esta tesis, y tal y como se especifica en el apartado 1 de la misma:

“persigue analizar la integración de la fotogrametría digital como técnica frente a la metodología tradicional de levantamiento de bienes patrimoniales, estudiando las ventajas y limitaciones de esta en los ámbitos arquitectónicos, arqueológicos e industriales y sus posibilidades de empleo.”

Ha sido en el capítulo 4, con la aplicación práctica sobre las fases de conocimiento, proyecto, ejecución y gestión de intervención integral en el patrimonio, donde se han revisado los ensayos realizados con el procedimiento propuesto en el capítulo 3 y donde se ha mostrado la adecuación de los resultados obtenidos con respecto a las necesidades documentales exigidas normativa y experimentalmente.

Se ha expuesto el protocolo de actuación de la investigación dividida en etapas sobre diferentes fases de estudio/ejecución y ante ejemplos, en forma de modelos, tanto en bienes de naturaleza arquitectónica, arqueológica e industrial, mostrando, también, cómo varía el rendimiento de trabajo frente a las técnicas habituales, asimismo, empleadas sobre ese ejemplo concreto.

Para demostrar esta estrecha relación documentación – fotogrametría digital – gestión integral se muestra el siguiente esquema, (tabla 033), generado durante el desarrollo de la tesis, donde se enmarcan los apartados contenidos, dentro de cada fase, en los que la fotogrametría ha resuelto adecuadamente el requerimiento al que se hace referencia y donde se contemplan, bajo la siguiente escala, diferentes grados de adecuación: mínimo, bajo, medio, alta y muy alta.

La fotogrametría digital, gracias, sobre todo (capítulo 2.2), a la implemen-

tación de técnicas derivadas de la evolución tecnológica, admite acometer este tipo de intervenciones con recursos bajos y con precisión métrica suficiente tanto para inventariar, como para difundir o redactar un proyecto. En base a los casos en los que se ha experimentado el procedimiento podemos concluir que:

	FASE 01	FASE 02	FASE 03	FASE 04
Recursos	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Tiempo	Alta	Medio	Medio	Medio
Precisión	Alta	Muy alta	Muy alta	Alta
Especialización	Media	Media	Media	Media
Intrusión sobre el patrimonio	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo
Medios personales	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo

Tabla 033. Grado de adecuación de la fotogrametría digital en cada una de las fases de intervención según los resultados de las experiencias desarrolladas en el capítulo 4. Fuente: Autor.

Las precisiones obtenidas en las experiencias realizadas resultan similares a las alcanzadas con los sistemas sofisticados y caros existentes en el ámbito tradicional, rondando valores de  $\pm 2$  mm. en trabajos de levantamiento a corta distancia (inferior a tres metros) sobre piezas ornamentales en detalle (por ejemplo de origen arqueológico) y de  $\pm 6$  mm. en las mismas labores, pero sobre cuerpos de mayor dimensión (por ejemplo, porciones arquitectónicas), realizadas a una distancia de entre 10 y 15 m.

Y dónde, además, y atendiendo a las tablas de optimización temporal de resultados contenidas en los capítulos 4.1.3.5, 4.2.3.5, 4.3.4.5 y 4.4.2.5<sup>73</sup>, tendremos una mejora de rendimiento temporal frente a los procedimientos tradicionales de:

	FASE 01	FASE 02	FASE 03	FASE 04
Procedimientos fotogramétricos	189%	188%	185%	175%

Tabla 034. Resumen de rendimientos del estudio temporal por fases del capítulo 4. Fuente: Autor.

<sup>73</sup> Tablas 013, 021, 027 y 031.

Con esto se confirma que la fotogrametría digital es una técnica muy eficaz, rápida e inocua y que genera un volumen de información elevado en periodos de tiempo cortos, con recursos mínimos y sin producir ningún daño al bien. Su empleo, por tanto, en el estudio del patrimonio es elemental, pues permite adquirir documentación sobre su estado, su evolución en el tiempo y, entre otras, la posibilidad de reconstrucción virtual total del mismo con gran precisión y realismo.

Hemos de considerar que los objetivos específicos son subproductos de la investigación y documentación de los casos de estudio expuestos e ilustrados a lo largo de la tesis (no sólo por los detallados en el capítulo 4), con lo que, ante el interés histórico y patrimonial de cada uno de ellos, podemos evaluar así las conclusiones particulares:

1. El primero de los objetivos específicos, estudiado y justificado a lo largo del capítulo 4 y tal y como se especifica al inicio de esta tesis pretende:

*“exponer cómo la fotogrametría digital es una herramienta aplicable y útil en la documentación del patrimonio arquitectónico, arqueológico e industrial en un proceso de intervención integral.”*

Podemos afirmar que, conocida la documentación gráfica obtenida directa (fotografías y croquis del entorno) o indirectamente (planos generales, de detalle, secciones, modelos 3D, etc.) a través del levantamiento fotogramétrico digital, se está hablando de una herramienta útil en actividades de investigación y necesaria en las fases del proceso integral de salvaguarda del patrimonio relacionadas con el conocimiento, documentación, proyecto y gestión.

Es con la fotogrametría digital, y tal y como se deduce en los capítulos 4.1.3.5, 4.2.3.5, 4.3.4.5 y 4.4.2.5, con la que se ha concebido documentación gráfica no sólo mínima exigible, sino complementaria, para instituir un mejor conocimiento del significado del bien, exploración de su estado actual, evolución, turismo virtual, archivo/registro digital, recursos educativos, registro en caso de daño o pérdida, musealización e interacción sin riesgo de deterioro, entre otros.

El modelo tridimensional generado por la fotogrametría puede ser tratado como un medio útil en todo el proceso de intervención que vaya desde el análisis del bien patrimonial objeto de estudio, su análisis bibliográfico y correspondencia con el mismo, adquisición de datos, la documentación previa a la intervención, croquizado, procesado, apoyo a la elección de la técnica a emplear y uso en actividades visualmente interactivas con la que crear multitud de productos finales.

## 2. El segundo objetivo concreto:

“desarrolla un protocolo de actuación por etapas que, aplicando la fotogrametría digital, nos permite obtener datos que documenten al patrimonio arquitectónico, arqueológico e industrial.”

Las conclusiones que se derivan del trabajo de investigación pretendían que el flujo de trabajo del capítulo 3 definido en etapas y propuesto como procedimiento de acción, proporciona, por un lado, un protocolo eficiente, pues según se expone en las tablas de resultados de cada fase de intervención con rendimiento medio del 138% disminuyendo los tiempos de trabajo en campo y, por otro, global, pues como se ha puesto de manifiesto ya dentro del capítulo 4, permite aplicarse a la totalidad del patrimonio arquitectónico, arqueológico e industrial, independientemente de su forma, extensión y origen.

Ello permite, en primera instancia, asegurar que la aplicación directa del protocolo de esta tesis es versátil, flexible y de fácil adaptación según las exigencias documentales. El estudio de los resultados de rendimiento temporal obtenidos con la fotogrametría digital frente a las metodologías de levantamiento tradicionales ha confirmado que éste mejora disminuyendo el tiempo de obtención documental, en cada fase.

Concluidas satisfactoriamente cada una de las experiencias recogidas en la tesis (con sus peculiaridades, expuestas donde procedía dentro del capítulo 4) bajo avales de rigor, sistematización en algunos de los casos y apoyo a la obtención de planos, alzados, secciones, fotografías, texturas y modelos tridimensionales con

las que poder intervenir en las introspecciones y facultar a los agentes implicados a comprender íntegramente el bien patrimonial, comprobamos como la fotogrametría digital resuelve acertada e íntegramente la documentación integral en intervenciones sobre los bienes en estudio.

Ante un objetivo puramente técnico, consistente en presentar un procedimiento que permita obtener una reconstrucción, inicialmente virtual y tridimensional, con una gran densidad de puntos y con datos de precisión tolerables en labores patrimoniales, se establecen unas premisas fruto de la experiencia con las que conseguir, con la mayor efectividad, un sistema de trabajo que sirva de guía tanto para el capítulo 4 de ensayo como de propuesta de actuación a posibles usuarios.

### 5.3. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez discutidos los resultados y expuesto el grado de cumplimiento de los objetivos planteados, se esbozan posibles futuras líneas de investigación que, considerando la estrategia de gestión documental patrimonial desarrollada en la presente tesis, sugiere que esta es un primer paso, obligatorio pero no conclusivo, y que reconoce/ratifica la necesidad de un estudio pormenorizado de la realidad, por un lado, de la información recabada habitualmente y, por otro, necesaria y obligatoria sobre los elementos patrimoniales.

Quedan así abiertos varios frentes, realmente interesantes, que reclaman futuros esfuerzos para su concreción y que, previsiblemente, y ante la necesidad y relevancia de la documentación gráfica y fotográfica del patrimonio a la que se ha hecho referencia expresa en la investigación, pueden propiciar amplias, significativas y obligatorias divulgaciones en el futuro.



Algunas de las líneas de desarrollo y aspectos a considerar son:

- Sistemas complementarios para el autocalibrado de cámaras digitales de uso cotidiano para su empleo en fotogrametría.
- Software de procesado fotogramétrico integral que aúne una interfaz amigable, que gestione adecuadamente los recursos del ordenador, que permita generar y editar planos y volúmenes de apoyo así como la estandarización de procedimientos topográficos tradicionales.
- La videogrametría y su uso sobre el patrimonio.
- Empleo de láser escáner a escala reducida, económicos y fáciles de transportar que puedan incorporarse a vehículos aéreos no tripulados como los drones.



Figura 360. Explicación a alumnos de secundaria de la importancia de la protección y difusión del patrimonio y las posibilidades de empleo de nuevas tecnologías en el desempeño de estas labores. IES Samaniego, Alcantarilla (Murcia). Fuente: Autor.

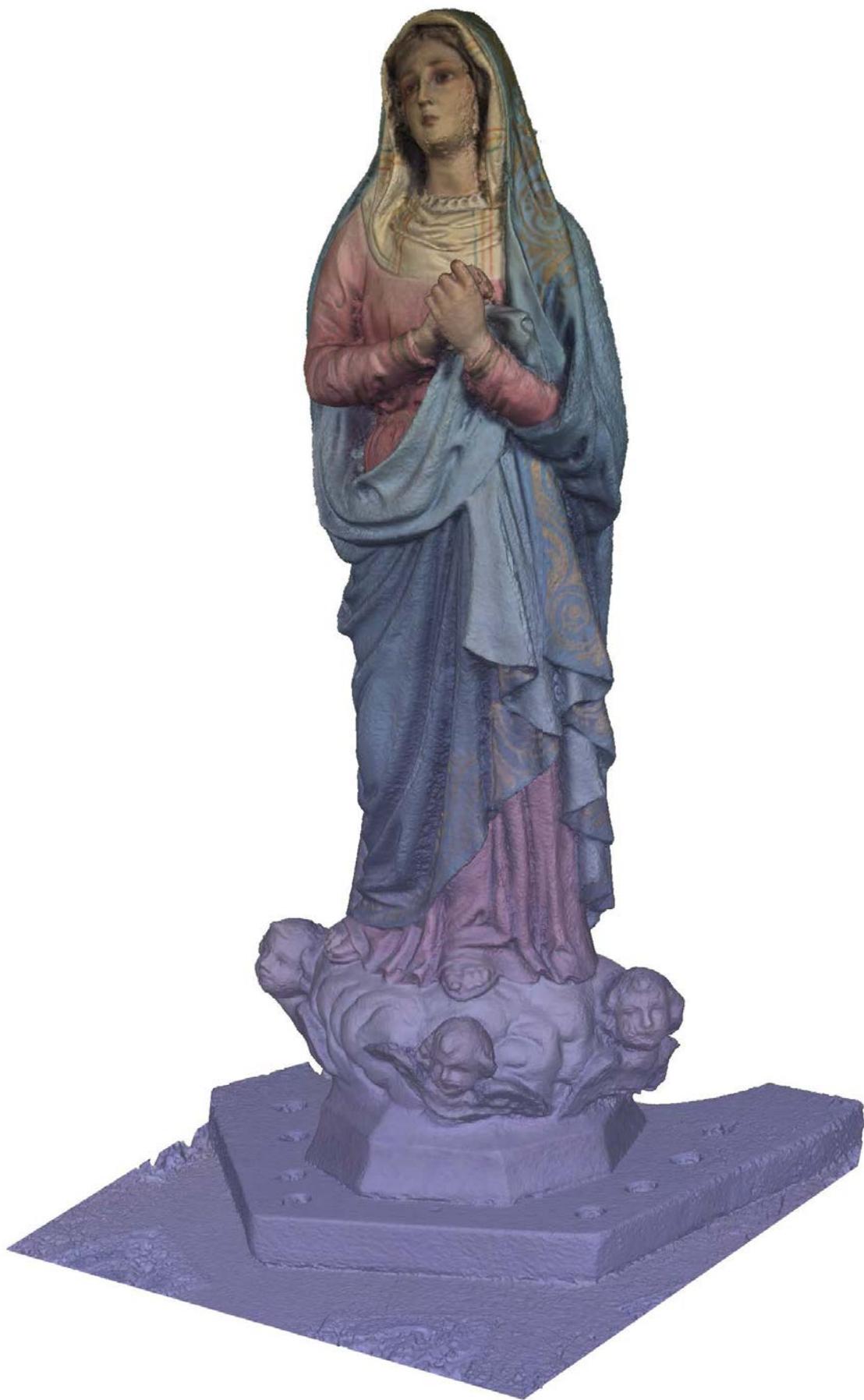
- Usos innovadores de la fotogramétrica aplicada al patrimonio con la intención de, haciendo uso de los modelos tridimensionales obtenidos con ésta, adquirir información extendida sobre el patrimonio (caracterización energética y bioclimática, simulaciones energéticas, caracterización sonora, infrarrojos, pictografía, etc).

Para concluir, es necesario señalar que, desarrollando la base metodológica y funcional desglosada en esta tesis y ante la necesidad real en la sociedad (instituciones y organizaciones, tanto públicas como privadas) por documentar, conservar y difundir el patrimonio, esta propuesta puede dar respuesta en casos en los que se carece de medios económicos suficientes para acometer intervenciones mayores o en los que los medios humanos, temporales y / o de conocimiento permiten implementarla.

De aquí, se deduce un mercado empresarial abierto que aporte auxilio y formación que extienda la fotogrametría a otros aspectos constructivos, estructurales, patológicos y de funcionalidad en torno a las citadas 5 líneas de investigación futuras.

Como objetivo inmediato, y continuando con lo expuesto en el desarrollo de esta tesis, se propone aplicar esta propuesta de forma exhaustiva y completa en nuestro entorno docente (figura 360), investigador y profesional más cercano, ya sea en el seno de los proyectos vinculados al patrimonio (figura 361), en los equipos de investigación a los que se pertenece (o con los que se colabore) o en las charlas, comunicaciones, talleres y enseñanza en general en los que se participe.

Figura 361 (derecha). Reconstrucción tridimensional, base de figura malla coloreada y rostro acabado RGB, generada con fotogrametría sobre figura de la Virgen del Río, patrona de Huércal-Overa (Almería). Fuente: Autor.





# 6 CONCLUSIONES

El actual capítulo estructura la presentación de conclusiones en torno a una relación de seis ítem y culmina con la exposición de la síntesis.

## 6.1. RELACIÓN DE CONCLUSIONES

1. El protocolo de actuación expuesto en esta tesis con la fotogrametría digital como medio, además de ser sintético, proporciona un procedimiento de trabajo simple, metódico y directo en torno al estudio y documentación integral del patrimonio de origen arquitectónico, arqueológico e industrial.
2. La actualización continuada del software de referencia para la investigación desde el inicio de la investigación en 2012 y hasta la actualidad demuestran que el procedimiento propuesto es atemporal, básico, adap-

tado a la evolución del programa y adecuado para la intervención sobre patrimonio de muy diferente ascendencia.

3. El proceso de aprendizaje comparando este sistema con los tradicionales bosquejos de campo en prospección es sencillo, fácil de aplicar y amplía las posibilidades cualitativas, cuantitativas, de precisión y rendimiento temporal. Estas mismas labores, realizadas con instrumentación topográfica como GPS diferencial o estación total, entre otras, redundan en un trabajo de procesado, tanto de campo como de gabinete, mucho más laborioso.

4. El fotorrealismo de los resultados, el modelado de detalles exactos aun cuando su morfología es compleja, el flujo de trabajo mecanizado, su portabilidad, bajo coste y flexibilidad, posiciona a la fotogrametría digital como la herramienta más adecuada cuando se trata de satisfacer íntegramente los requisitos documentales del patrimonio para cada una de las fases en las que se actúa sobre este.

5. Los condicionantes ambientales, de imposibilidad de estacionado (acercamiento o alejamiento excesivos) o lumínicos juegan en desventaja frente a otros sistemas, sobre todo basados en escáner láser, que permiten la toma de datos y captura de la realidad desde un único punto de vista, con una amplia documentación de la escena y con resultados de uso inmediato, pero, con la necesidad de personal técnico especializado, equipos de alto coste y resultados, a veces, condicionados por su posición y desplazamiento limitado.

6. La fotogrametría digital requiere de equipos informáticos económicos, nivel de usuario, ligados a software de diversa naturaleza (edición fotográfica, tratamiento de mallas tridimensionales, CAD, etc.) en los que se requiera "mover" nubes de puntos densas y de ordenadores de mayor rendimiento para cuando lo que se pretende es trabajar con polígonos complejos directamente derivados del uso del software fotogramétrico y que, en algunos casos, nos obligan a simplificar el modelo obtenido, reduciendo su definición, con la consiguiente merma de parte de la información recabada.

## 6.2. SÍNTESIS

El protocolo de actuación aquí expuesto aporta un procedimiento aplicable a la totalidad de los levantamientos fotogramétricos digitales y demuestra que la fotogrametría digital amplía las posibilidades resolutivas de los profesionales, docentes o investigadores relacionados con estos campos; viabiliza la reducción de personal multidisciplinar, de costes, riesgos, instrumentación, tiempos de estadía en campo y trabajo en gabinete; extiende la flexibilidad de resultados bajo una única acción; facilita el registro temporal y resuelve y proporciona (directa o indirectamente) la totalidad de la documentación gráfica y fotográfica exigida o requerida a lo largo de un proceso integral de intervención sobre el patrimonio arquitectónico, arqueológico e industrial con un rendimiento medio del 184 %.



## **BIBLIOGRAFÍA**

AGUIRRE DE MATA, J. Calibración geométrica de cámaras no métricas. Estudio de metodologías y modelos matemáticos de distorsión. Tesis Doctoral inédita, E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica Madrid, Madrid, 2016. [Consultado 8 enero 2015]. Disponible en: <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39454>.

AHMADABADIAN, A., et al. "A comparison of dense matching algorithms for scaled surface reconstruction using stereo camera rigs". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2013, vol. 78, p. 157-167.

ALMAGRO, A. "Los estudios previos en la Restauración y Rehabilitación de edificios: Planimetría y Fotogrametría". *Rehabilitación y ciudad histórica. I curso de rehabilitación del Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Oriental C.O.A.A.O.*, 1988, Cádiz, pp. 201-219.

ALMAGRO, A. "Sobre el uso métrico de fotografías digitales en los levantamientos arquitectónicos". *X Congreso internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica EGA*, 2004, Granada, pp. 351-359.

ALMAGRO, M. "La catalogación, publicación y digitalización del Archivo de la Comisión de Antigüedades de la Real Academia de la Historia". *250 años de Arqueología y Patrimonio. Documentación sobre Arqueología y Patrimonio Histórico de la Real Academia de la Historia. Estudio general e índices*. Madrid: Real Academia de la Historia, 2003, pp. 15-26.

ALONSO, M<sup>a</sup> R. *Los catálogos urbanísticos y otros catálogos protectores del patrimonio cultural inmueble*. Navarra: Thomson Aranzadi, 2005, 110 p. [Consultado 12 septiembre 2014]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Rosario\\_Alonso/publication/31766636\\_Los\\_catalogos\\_urbanisticos\\_y\\_otros\\_catalogos\\_protectores\\_del\\_patrimonio\\_cultural\\_inmueble\\_MR\\_Alonso\\_Ibanez/links/54d4bc8a0cf25013d029d39e/Los-catalogos-urbanisticos-y-otros-catalogos-protectores-del-patrimonio-cultural-inmueble-MR-Alonso-Ibanez.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rosario_Alonso/publication/31766636_Los_catalogos_urbanisticos_y_otros_catalogos_protectores_del_patrimonio_cultural_inmueble_MR_Alonso_Ibanez/links/54d4bc8a0cf25013d029d39e/Los-catalogos-urbanisticos-y-otros-catalogos-protectores-del-patrimonio-cultural-inmueble-MR-Alonso-Ibanez.pdf).

ALSADIK, B.; GERKE, M.; VOSELMAN, G. "Efficient use of video for 3D modelling of cultural heritage objects". *ISPRS Annals of the Photogrammetry*,

Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2015, vol. 2, no 3, p. 1.

ANDRIES, P., et al. "Digital close-range photogrammetry of statue-colonnes applied on the Tournai cathedral (Belgium)". CIPA 2005 XX International Symposium Proceedings, Turín, 26 sep-1 oct 2005. [Consultado 9 mayo 2014]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1854/LU-339570>.

ANGULO, R. "La fotogrametría digital: una herramienta para la recuperación de arquitecturas perdidas: Torre del Homenaje del Castillo de Constantina". Virtual Archaeology Review, 2013, vol. 4, n°. 8, pp. 140-144.

APOLLONIO, F. I., et al. "Evaluation of feature-based methods for automated network orientation". The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2014, vol. 40, n° 5, p. 47.

ARAGONÉS, J. "La lectura en la era de la información: Hacia un nuevo concepto de competencia lectora". Puertas a la lectura, 2004, n°. 17, pp. 128-134.  
ARCHIBALD, R. Managing high-technology programs and projects. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 399 p.

ARIAS-PÉREZ, B., et al. "Calibrating a photogrammetric digital frame sensor using a test field". Dyna, 2014, vol. 81, n°. 185, pp. 94-99.

BAEZA, U. "Realidad Virtual para la dinamización de entornos rurales. Un caso práctico: Red Parque Cultural". Virtual Archaeology Review, 2011, vol. 2, n°. 3, pp. 105-108.

BALLART, J.; JUAN, J. Gestión del patrimonio cultural. Barcelona: Editorial Ariel, 2001. 238 p.

BARRERO, M<sup>a</sup>. C. La ordenación jurídica del Patrimonio Histórico. Madrid: Civitas, 1990, 736 p.

BARTHES, R. La cámara lúcida. Barcelona: Paidós Ibérica, 2009. 144 p.

BATANERO, L. "El Consejo del Patrimonio Histórico". *Patrimonio cultural y derecho*, 1998, n° 2, pp. 21-54.

BIOSCA, J. M.; NAVARRO, S.; LERMA, J. L. "Modelado tridimensional de una bóveda barroca mediante la combinación de láser escáner y fotogrametría". *7 Setmana Geomàtica*, 2007, pp. 20-23.

BLÁNQUEZ, J.; RODRÍGUEZ, B. *El arqueólogo Juan Cabré (1882-1947): la fotografía como técnica documental: Madrid, Museo de San Isidro del 24 de junio al 31 de octubre de 2004*. Madrid: Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid, 2004, 423 p.

BOADO, F. "Hacia un modelo integrado de investigación y gestión del Patrimonio Histórico: la cadena interpretativa como propuesta". *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 1996, vol. 4, n°. 16, pp. 73-78.

BOQUERA, J., et al. "Aplicaciones de la tecnología de digitalización tridimensional por la coordinación de monumentos históricos del Instituto Nacional de Arqueología e Historia (INAH) en México DF. (2009 y 2010)". *EGA: Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 2011, n°. 17, pp. 42-53.

BRANDI, C. *Teoría de la Restauración*, trad. María Ángeles Toajas Roger. Madrid: Alianza Forma, 1963. 156 p.

BUILL, Felipe; NÚÑEZ, M<sup>a</sup>. A.; RODRÍGUEZ, J. *Fotogrametría analítica (Vol. 79)*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2003, 153 p.

BUILL, F.; NÚÑEZ, M. A.; RODRÍGUEZ, J.J. *Fotogrametría arquitectónica*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2007. 200 p.

CANNAROZZO, R.; CUCCHIARINI, L.; MESCHIERI, W. *Misure, rilievo, progetto*. Bologna: Zanichelli, 2012. 448 p.

CAROTI, G.; ZARAGOZA, I.; PIEMONTE, A. "Range and Image Based Modelling: a way for Frescoed Vault Texturing Optimization". *The International*

Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2015, vol. 40, n°. 5, p. 285.

CONWAY, P. "Preservation in the Age of Google: Digitization, Digital Preservation, and Dilemmas 1". *The Library Quarterly*, 2010, vol. 80, n°. 1, pp. 61-79.

CORSINI, M., et al. "Fully automatic registration of image sets on approximate geometry". *International journal of computer vision*, 2013, vol. 102, n°. 1-3, pp. 91-111.

CRESPO, C.; LOSADA, F.; MARTÍN, A. *Patrimonio, políticas culturales y participación ciudadana*. Buenos Aires: Editorial Antropofagia, 2007. 286 p.

CUELI, J. T. "Fotogrametría práctica, tutorial Photomodeler". Torrelavega (Cantabria): Ediciones Tantín, 2011. 355 p.

CHARQUERO, A. M<sup>a</sup>.; LÓPEZ, J. A. "Registro tridimensional acumulativo de la secuencia estratigráfica. Fotogrametría y SIG en la intervención arqueológica de lo Boligni (Alacant)". *Virtual Archaeology Review*, 2012, vol. 3, n° 5, pp. 81-88.

CHUECA, M.; HERRÁEZ, J.; BERNÉ, J. L. *Métodos topográficos*. Tomo II. Madrid: Paraninfo, 1996. 746 p.

DAVILA, M. *Estudio para la valoración y recuperación del patrimonio arquitectónico religioso Venezolano a través de técnicas digitales: iglesia de San Jacinto, caso de estudio*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, 2011.

DE ESPAÑA, Gobierno. Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. *Boletín Oficial del Estado*, 1985, vol. 29, pp. 20342-20352.

DE LA BANDA, J. F. "La regulación del Patrimonio Arqueológico como dominio público a raíz de la promulgación de la ley de 1911: un antecedente de la Ley 16/1985/The regulation of the Archaeological Heritage as a freeware following the enactment of the Law of 1911: an antecedent of the Law 16/1985". *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, 2014, n°. 47, p. 263.

DE RIVERA, J. "Desarrollo de un modelo de distorsión geométrica para cámaras fotográficas". *Topografía y cartografía: Revista del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía*, 2007, vol. 24, n.º. 141, pp. 3-7.

DEL VAL RECIO, J.; MORENO, J. J. "Propuestas para la divulgación del patrimonio: la adecuación de los yacimientos y las denominadas aulas arqueológicas en Castilla y León, ejemplos de la provincia de Soria". *Soria arqueológica: a José Luis Argente Oliver*. Diputación Provincial de Soria, 2000, pp. 319-342.

DIEZ, A., et al. "Propuesta de protocolo GIS y de utilización de un entorno 3d para la intervención arqueológica 2015 en cueva de la Cocina (Dos Aguas, Valencia)". *Proceedings of the 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation 'ARQUEOLÓGICA 2.0'*, 2016. Valencia: Universitat de València, pp. 379-382. Disponible en: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/arqueologica20/arqueologica8/paper/viewFile/3699/2269>.

DORE, C.; MURPHY, M. "Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites". *Virtual Systems and Multimedia (VSMM)*, 18th International Conference IEEE. Milan, 2012, pp. 369-376.

EISENBEIß, H. UAV photogrammetry. Zurich, Switzerland: ETH, 2009. 237 p.

ESTEBAN, J.; GARCÍA, M.º. P. Alejandro Ferrant y la conservación monumental en España (1929-1939): Castilla y León y la primera zona monumental. Junta de Castilla y León, Consejería de Cultura y Turismo, 2007. 462 p.

FABREGAT, L., et al. "Anastilosis Virtual con Blender: Las Termas del Yacimiento Villa Romana De L'albir (L'alfàs Del Pì, Alicante)". *Virtual Archaeology Review*, 2012, vol. 3, n.º 6, pp. 45-48.

FANINI, B. et al. *Archeologia virtuale online*. Atti della Conferenza GARR\_11, 2011. Roma: Associazione Consortium GARR. pp. 64-70 [Consultado 22 mayo 2016]. Disponible en: [file:///C:/descargas/Archeologia\\_Virtuale\\_online.pdf](file:///C:/descargas/Archeologia_Virtuale_online.pdf).

FANTINI, F. "Modelos con nivel de detalle variable realizados mediante un levantamiento digital aplicados a la arqueología". EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica, 2012, vol. 17, n.º. 19, pp. 306-317.

FONTELA, C. Restauración e historia del arte en Galicia. Madrid: CSIC-CSIC Press, 1997, 301 p.

FRASER, R. "Historia oral, historia social". Historia social, 1993, n.º. 17, pp. 131-139.

GABRIELLI, M.; MALINVERNI, E. S. "Multimedia database for the Heritage information system of the Ancyra Project". XXI International CIPA Symposium, 2007. Atenas, 6 p. [Consultado 4 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/5-c53/papers/FP064.pdf>.

GAIANI, M., et al. "A mono-instrumental approach to high-quality 3D reality-based semantic models application on the Palladio library". IEEE Digital Heritage, 2015, pp. 29-36.

GALLO, G. Digital Imaging for Cultural Heritage Preservation: Analysis, Restoration, and Reconstruction of Ancient Artworks. California: Taylor & Francis Group, 2011, 483 p.

GARCÍA, I.; FERNÁNDEZ, M.; MESANZA, A. "Láser escáner y nubes de puntos. Un horizonte aplicado al análisis arqueológico de edificios". Arqueología de la Arquitectura, 2011, n.º. 8, pp. 25-44.

GAZZOLA, P., et al. Centri storici urbani. Analisi metodologica per la loro individuazione e rappresentazione. Roma: Ministero della pubblica istruzione, 1971, pp. 55-57.

GUIDI, G.; RUSSO, M.; BERARDIN, J. A. "The Erechtheion Experience; Optical Coherence; Tomography; Digital 3D Imaging and Modelling; A Metrological Approach, Acquiring Full Service Data". Acquisizione 3D e modellazione poligonale. Consejo Nacional de Investigación de Canadá: McGraw-Hill, 2010, 480 p.

GUIDI, G.; RUSSO, M. "Diachronic 3D reconstruction for lost Cultural Heritage". *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, 2011, vol. 38, n°. Part 5, pp. 371-376.

GUIDI, G.; REMONDINO, F. *3D Modelling from real data*. Milan: INTECH Open Access Publisher, 2012, 102 p.

GUIDI, G.; RUSSO, M.; ANGHELEDDU, D. "Digital Reconstruction of an Archaeological Site Based on the Integration of 3d Data and Historical Sources". *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2013, vol. 1, n°. 1, pp. 99-105.

HARTLEY, R.; ZISSERMAN, A. *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003, 657 p.

HENRIQUEZ, G. "La ética de la conservación aplicada a las excavaciones arqueológicas". *X CONGRESO NACIONAL DE ARQUEOLOGIA CHILENA Chungara*, 1986, p. 265-274.

HERNÁNDEZ, F. *El patrimonio cultural: la memoria recuperada*. Asturias: Trea, 2002, 462 p.

JEONG, Y., et al. "Pushing the envelope of modern methods for bundle adjustment". *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 2012, vol. 34, n°. 8, pp. 1605-1617.

KOSKA, B.; KREMEN, T. "The combination of laser scanning and structure from motion technology for creation of accurate exterior and interior orthophotos of St. Nicholas Baroque church". *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 2013, vol. 40, p. 133-138.

LERMA, J. L., et al. "Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study". *Journal of Archaeological Science*, 2010, vol. 37, n°. 3, pp. 499-507.

LILLO, P.; GARCÍA, G.; GONZÁLEZ, A. "Novedades numismáticas en la provincia de Murcia". *Numisma*, 1980, pp. 165-167.

LÓPEZ-CUERVO, G. *Desarrollos para la explotación de datos integrados mediante fotogrametría y láser escáner en proyectos de patrimonio arquitectónico*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 2102.

LOGOTHETIS, S.; DELINASIOU, A.; STYLIANIDIS, E. "Building information modelling for cultural heritage: a review". *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2015, vol. 2, n.º. 5, pp. 177.

LOZANO, J. "Bastitania y Contestania del reino de Murcia". Murcia: Academia Alfonso X el Sabio, 1980, pp. 304.

LLUL, J. "Evolución del concepto y de la significación social del patrimonio cultural". *Arte, individuo y sociedad*, 2005, vol. 17, pp. 177-206.

MANFERDINI, A.; REMONDINO, F. "Review of reality-based 3D model generation, segmentation and web-based visualization methods". *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2012, vol. 1, n.º. 1, pp. 103-123.

MAÑANA, P.; RODRÍGUEZ, A.; BLANCO, R. "Una experiencia en la aplicación del Láser Escáner 3D a los procesos de documentación y análisis del Patrimonio Construido: su aplicación a Santa Eulalia de Bóveda (Lugo) y San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela)". Madrid: *Arqueología de la Arquitectura*, 2008, n.º. 5, pp. 15-32. [Consultado 6 diciembre 2015]. Disponible en: <http://arqarqt.revistas.csic.es/index.php/arqarqt/article/view/87/84>.

MARAMBIO, A. E., et al. "Terrestrial Laser Scanner, Terrestrial SAR-RAR and topographic data: an integration proposal for monitoring the temple of Sagrada Familia in Barcelona". Barcelona: VIII Semana Geomática Internacional, 2009, 7 p.

MARTÍNEZ, J. A.; SEGURA, J. E. "Isaac Peral y el torpedero submarino. Navegando en el tiempo". I Congreso Internacional de Arte, Arquitectura y Patrimonio. Cátedra Internacional de la Artes Cristóbal Gabarrón, 2014, 5 p.

MARTÍNEZ, J. F. *Anastilosis y reconstrucción virtual de la bóveda de la Iglesia de Santa María de la Vila Vella de Denia (Alicante): comparación de sistemas de levantamiento digital*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2014, 166 p. [Consultado 25 marzo 2016]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/45003/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MCLEAN, T. "The Effect Of Image Overlap On Accuracy Of Photogrammetry Using Uavs". Carolina: SCJAS, 2016. 134 p.

MESCHINI, A., et al. "Point cloud-based survey for cultural heritage-An experience of integrated use of range-based and image-based technology for the San Francesco convent in Monterubbiano". *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2014, vol. 40, n.º. 5, p. 413.

MICOLI, L., et al. "A multidisciplinary approach to 3D survey and reconstruction of historical buildings". *IEEE Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, 2013, pp. 241-248.

MORALES, J. "La interpretación del patrimonio natural y cultural: todo un camino por recorrer". *PH: boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 1998, vol. 6, n.º. 25, pp. 150-157.

MORCILLO, M<sup>a</sup>. J. "Aproximación cronológica y geográfica del yacimiento de Bolvax". *I Encuentro de Jóvenes Investigadores en Arqueología de la Región de Murcia: de la arqueología prehistórica a la arqueología industrial*, 2015, Murcia, pp. 103-144.

NAVARRO, B.; LEDESMA, F. "Necesidad de una ley de Antigüedades". Madrid: *Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos*, 1897, pp. 446-448.

NAVARRO, M., et al. "Levantamiento fotogramétrico del Catillo de Ros en Balsicas". Murcia: Universidad Politécnica de Cartagena, 2014, 141 p.

PÉREZ, J. A. Estimación de los Parámetros Internos de Sensores Utilizados en Cámaras Digitales de Resolución Media y Alta mediante Modelización de Técnicas Fotogramétricas. Tesis Doctoral inédita, Universidad de Extremadura, Extremadura, 2009.

PÉREZ, J. L., et al. "Fotogrametría de bajo coste para la modelización de edificios históricos". *Virtual Archaeology Review*, 2011, vol. 2, n.º. 3, pp. 121-125.

QUEROL, M<sup>a</sup>. A.; MARTÍNEZ, B. La gestión del patrimonio arqueológico en España. Madrid: Alianza Editorial, 1996. 440 p.

PORTALÉS, C. Entornos multimedia de realidad aumentada en el campo del arte. Universitat Politècnica de València, Editorial, 2010.

QUEROL, M<sup>a</sup>. A. Manual de gestión del patrimonio cultural. Madrid: Ediciones AKAL, 2010, 544 p.

REMONDINO, F.; GUARNIERI, A.; VETTORE, A. "3D modeling of close-range objects: photogrammetry or laser scanning". *Electronic Imaging: International Society for Optics and Photonics*, 2005, pp. 216-225.

REMONDINO, F.; FRASER, C. "Digital camera calibration methods: considerations and comparisons". *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2006, vol. 36, n.º. 5, pp. 266-272.

REMONDINO, F., et al. "State of the art in high density image matching". *The Photogrammetric Record*, 2014, vol. 29, n.º. 146, pp. 144-166.

RESPALDIZA, P. J.; FERNÁNDEZ, J. J.; RAVÉ, J. L. "Los Gabinetes Pedagógicos de Bellas Artes y la difusión del Patrimonio Histórico de Andalucía". *Conciencia social: anuario de didáctica de la geografía, la historia y las ciencias sociales*, 1997, n.º. 1, pp. 165-172.

RODRÍGUEZ, A. Documentación espacial del patrimonio: preservación de la información. Necesidades, posibilidades, estrategias y estándares. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco, 2014.

ROTHERMEL, M.; HAALA, N.; FRITSCH, D. "a Median-Based Depthmap Fusion Strategy for the Generation of Oriented Points". ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2016, Prague, pp. 115-122.

RUIZ, G.; FERNÁNDEZ, V. M. "Prospección de superficie, técnicas de muestreo y recogida de información". Inventarios y cartas arqueológicas. Actas: homenaje a Blas Taracena: 50 aniversario de la primera Carta arqueológica de España, Soria 1941-1991. Consejería de Cultura y Turismo, 1993. pp. 87-98.

SALMERÓN, J. "una singular lucerna paleocristiana en Cieza". Antigüedad y Cristianismo, 1990, n.º. 7, pp. 581-584. [Consultado 1 junio 2016]. Disponible en: <http://revistas.um.es/ayc/article/view/62011/59741>.

SANCHO, A. "El Patrimonio Histórico de la Iglesia, expresión de la creatividad de la fe en cada tiempo y cultura". Curso básico. Aymat, C.; Clemente, C.; Rivera, J.; Balbín, R. (eds.). El proyecto de restauración. Madrid: Artes Gráficas Palermo, 2003, pp. 212-275.

SANDOVAL, V. Cartografía elaborada con un método fotogramétrico simple versus un método digital (Softcopy-Fotogrametría). Bosque, Valdivia, 2004, vol. 25, n.º. 1, p. 87-94. [Consultado 7 marzo 2017]. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002004000100007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002004000100007&script=sci_arttext).

SARRÍA, F. Administración y dirección de los museos: aspectos jurídicos. Lluís Peñuelas y Reixarch. Madrid: Editorial Marcial Pons, 2008, 943 páginas. RdM. N.º. 45, p. 112.

SEMYONOV, D. "Algorithms used in photoscan". WWW Document, Agisoft PhotoScan Community Forum. [Consultado 3 marzo 2015]. Disponible en: <http://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=89.0>.

TAPIA, M<sup>a</sup>. C. "Un lugar para el patrimonio. La conservación del patrimonio cultural en la red". Ar@cne: revista electrónica de recursos en internet sobre

geografía y ciencias sociales, 2011. [Consultado 18 febrero 2015]. Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/aracne/aracne-153.htm>.

TOLEDO, J., et al. "Design of embedded augmented reality systems". *Augmented Reality InTech: Open Science, Open Minds*, 2010. [Consultado 19 febrero 2015]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/augmented-reality/design-of-embedded-augmented-reality-systems>.

TORRES, J. C., et al. "Aplicaciones de la digitalización 3D del patrimonio". *Virtual Archaeology Review*, 2010, vol. 1, n.º. 1, pp. 51-54.

TORTOSA, T. *Los estilos y grupos pictóricos de la cerámica ibérica figurada en la Contestania*. Madrid: CSIC-CSIC Press, 2006, 252 p.

TROITIÑO, M. A. "Ciudades históricas, turismo y desarrollo sostenible". *Ciudades históricas: conservación y desarrollo*. Encuentros sobre patrimonio, Visor, 2000, pp. 67-96.

VERDIANI, G. *Rilievo digitale e protocolli operativi*. Florencia: Università degli studi di Firenze, 2003, 104 p.

VIOLLET-LE-DUC, E. *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. B. bance, 1854, p. 33.

WENZEL, K., et al. "Image acquisition and model selection for multi-view stereo". *Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart Geschwister. Remote Sens. Spatial Inf. Sci*, 2013, vol. 40, pp. 251-258. [Consultado 12 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W1/251/2013/isprsarchives-XL-5-W1-251-2013.pdf>.

WULFF, R. "Image-based 3D Documentation in Archaeology". *DAGM 32nd Annual Symposium of the German Association for Pattern Recognition*, 2010. [Consultado 17 julio 2016]. Disponible en: <http://resources.mpi-inf.mpg.de/conferences/dagm/2010/pdfs/wulffdagm2010.pdf>.



**ANEXOS**

## A. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 001. Práctica de campo en 2ª edición del taller impartido a los técnicos de las Instalaciones de la Concejalía de Urbanismo y Vivienda del Ayuntamiento de Murcia. Fuente: Autor.

Figura 002. Modelo tridimensional de valor métrico generado por fotogrametría de la cúpula del interior de la Puerta de Las Armas, Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

Figura 003. Tabla de exposición simplificada en torno al estudio del patrimonio de acuerdo con el Manual de Gestión del Patrimonio Cultural (Querol, 2010). Fuente: Autor.

Figura 004. Influencias legales por Comunidades Autónomas en torno al Patrimonio Cultural. Fuente: Autor.

Figura 005. Estándares de origen internacional para la constitución de las medidas de intervención actual. Fuente: Autor.

Figura 006. Estructura administrativa en relación con el Patrimonio Histórico Español atendiendo a lo establecido por el Ministerio de Cultura. Fuente: Autor.

Tabla 007. Tabla resumen áreas de actuación y líneas de trabajo del CSIC. Fuente: Autor.

Figura 008. Maletín Alemán de 1899 con instrumentación para profesionales en materias técnicas e ingenieros militares. Museo di Storia Della Scienza, Florencia. Fuente: HAMBLY 1988.

Figura 009. Esquema de uso de cámara lúcida de William Hyde. Fuente: Roland, 2009.

Figura 010. Ilustración del Regola delli cinque ordini d'architettura de Vignola. Fuente: LUPA, Biblioteca Hertziana.

Figura 011. Desglose simplificado en el desarrollo de la fotogrametría. Fuente: Autor.

Figura 012. Implicación real y efectiva en fase de excavación arqueológica de equipos multidisciplinares. Bolvax, Cieza. Fuente: María José Morcillo

Figura 013. Implicación real y efectiva en fase de excavación arqueológica de equipos multidisciplinares. Bolvax, Cieza. Fuente: María José Morcillo

Figura 014. Correspondencia de visuales entre modelo virtual poligonal de textura RGB. Bolvax, Cieza. Fuente: Autor.

Figura 015. Fotografía de campo real (imagen superior) dentro de Agisoft Photos-

can. Bolvax, Cieza. Fuente: Autor.

Figura 016. Solape entre ortofotografía y representación CAD de la puerta principal de acceso a Casa de los Salazar Rosso. Desde 1992 Museo Arqueológico de Lorca (Murcia). Fuente: Representación lineal Jerónimo Granados, ortofotografía realizada por el autor.

Figura 017. Perspectiva del trabajo fotogramétrico en PhotoScan de la puerta principal de acceso a Casa de los Salazar Rosso. Desde 1992 Museo Arqueológico de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 018. Fotografía de la cámara Sony Nex-5 empleada en todo el trabajo de campo de la presente tesis para el desarrollo de las labores fotogramétricas. Fuente: Autor.

Figura 019. Labores de levantamiento fotogramétrico terrestre en la fachada principal del edificio histórico Palacio Almudí, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 020. Labores de levantamiento fotogramétrico con apoyo aéreo en la Torre Nazarí de Huércal-Overa, Almería. Fuente: Autor.

Figura 021. Ejemplo de ruta de vuelo preestablecida en gabinete para labores de conservación del patrimonio. Torre Nazarí de Huércal-Overa, Almería. Fuente: Autor.

Figura 022. Ejemplo de ruta de vuelo preestablecida en gabinete para labores de conservación del patrimonio. Torre Nazarí de Huércal-Overa, Almería. Fuente: Autor.

Figura 023. Etapa de levantamiento de puntos de apoyo en trabajo de campo. Castillo de Santa Catalina del Monte o de la Luz en el Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 024. Estación total de referencia empleada en las labores de apoyo a la fotogrametría donde proceda su uso. Fuente: Autor.

Figura 025. Vista frontal. Fuente: Autor.

Figura 026. Vista lateral con eje horizontal y altura de aparato. Fuente: Autor.

Figura 027. Tirada de cuerdas para el trazado de alineaciones y localización de puntos de estación fotográfica. Monasterio de Los Jerónimos de Espinardo, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 028. Tirada de cuerdas para el trazado de alineaciones y localización de puntos de estación fotográfica. Monasterio de Los Jerónimos de Espinardo, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 029. Trabajo fotogramétrico terrestre en altura con ayuda de pértiga y dis-

parador a distancia. Casa de los Salazar Rosso. Desde 1992 Museo Arqueológico de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 030. Representación tridimensional del mecanismo de proyección en la captura fotográfica. Fuente: Autor.

Figura 031. Gráficas de distorsión radial y tangencial y parámetros de calibrado obtenidos a través de Agisoft Lens para la cámara de referencia empleada en el desarrollo de la tesis. Fuente: Autor.

Figura 032. Targets o dianas artificiales. De izquierda a derecha: Diana Photomodeler de 8 bit, diana RAD Coded Photomodeler de 12 bit, dos formatos de diana PhotoScan 12 bit. Fuente: Software fotogramétrico Photomodeler y PhotoScan respectivamente.

Figura 033. Planilla impresa y de perfecta planeidad en formato A1 para proceso de calibrado por Photomodeler. Universidad Católica San Antonio de Murcia en Espinardo, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 034. Planilla digital de Agisoft Lens sobre monitor para calibrado con PhotoScan Lens. Universidad Católica San Antonio de Murcia en Espinardo, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 035. Planilla digital para calibrado con PhotoScan Lens. Universidad Católica San Antonio de Murcia en Espinardo, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 036. Muestras de mala realización de tomas fotográficas sobre patrón digital de Agisoft Lens. Fuente: Autor.

Figura 037. Muestras de mala realización de tomas fotográficas sobre patrón digital de Agisoft Lens. Fuente: Autor.

Figura 038. Descripción de modelo de cámara, resolución y nomenclatura de fotografías sobre patrón de calibrado dentro de la interfaz de Agisoft Lens. Fuente: Autor.

Figura 039. Ventana emergente en Agisoft Lens para obtención de parámetros característicos de una cámara fotográfica. Fuente: Autor.

Figura 040. Gráfica de apoyo al cálculo de recubrimientos fotogramétricos. Relación entre la distancia B y la separación A. Fuente: Realizado por el autor atendiendo a Cannarozzo, Cucchiarini y Meschieri, 2012: 40.

Figura 041. Acondicionado de paño de muralla previo a la elaboración de croquis por metodología arqueológica tradicional. Yacimiento arqueológico de Bolvax en Cieza, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 042. Detalle tridimensional fotogramétrico de grabado en muralla Republi-

cana Romana de opus caementicium. Yacimiento arqueológico de Bolvax en Cieza, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 043. Análisis del entorno de trabajo previo a la elección de las estaciones fotográficas para el levantamiento fotogramétrico. Yacimiento arqueológico de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 044. Metodología de captura fotográfica en función de los condicionantes del entorno. Levantamiento en exteriores, con luz natural y sin posibilidad de hacer uso de trípode, Castillo de Santa Catalina del Monte, o del Verdolay, o de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 045. Metodología de captura fotográfica en función de los condicionantes del entorno. Levantamiento en interior con iluminación artificial controlada y cámara sobre trípode, Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia (COAATIEMU), Murcia. Fuente: Autor.

Figura 046. Condiciones lumínicas adversas (fotografía a contraluz) para un correcto levantamiento fotogramétrico en exteriores. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 047. Vista 360° realizada con DJI Phantom Profesional. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 048. Recuperación de datos geométricos a partir de información gráfica recopilada en la red. Modelo sin validez métrica pero con adecuada relación textura/volumetría. Altar de la Paz Augusta, Roma (Italia). Fuente: Autor.

Figura 049. Espacio de trabajo en Agisoft PhotoScan para levantamiento fotogramétrico de imágenes seleccionadas en la red del Altar de la Paz Augusta, Roma (Italia). Fuente: Autor.

Figura 050. Collage de fotografías seleccionadas para levantamiento del Altar de la Paz Augusta, Roma (Italia). Fuente: Autor.

Figura 051. Panorámica interior con iluminación cercana y potente sobre zona de bóveda de arista. Claustro interior del Monasterio de los Jerónimos, Guadalupe (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 052. Perspectiva tridimensional por fotogrametría donde se aprecia desfigurada la parte “quemada” de la imagen más próxima a los puntos de luz. Fuente: Autor.

Figura 053. Vehículo estacionado dificultando la toma fotográfica, Iglesia de Santa María del Castillo de Cervera de Pisuerga, Palencia. Fuente: Autor.

Figura 054. Ortofotografía generada por fotogrametría, corrección de obstáculos por máscaras. Fuente: Autor.

Figura 055. Fotografía convergente para el levantamiento gráfico de bienes exentos. Busto Antonio Campillo, Parque escultórico Antonio Campillo, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 056. Collage de croquis de trabajo de campo. Aproximación a las zonas de estacionado para captura fotográfica y determinación de solapes verticales y/u horizontales. Fuente: Autor.

Figura 057. Adecuado estacionamiento y consecución fotográfica convergente para el levantamiento gráfico de bienes exentos en altura. Busto Antonio Campillo, Parque escultórico Antonio Campillo, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 058. Itinerario de consulta para el trabajo fotogramétrico. Fuente: Autor.

Figura 059. Relación de estaciones: Distancias entre bases de captura fotográfica y entre estas y el objeto. Relación base/altura. Fachada noreste del Monasterio de Los Jerónimos, Guadalupe (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 060. Inadecuada consecución fotográfica. Fuente: Autor.

Figura 061. Inadecuada consecución fotográfica. Fuente: Autor.

Figura 062. Adecuada consecución fotográfica. Fuente: Autor.

Figura 063. Adecuada consecución fotográfica. Fuente: Autor.

Figura 064. Rectificación fotográfica por ASRix. Imágenes en alzado y perspectiva dentro de CAD de izquierda a derecha respectivamente. Restauración del Baluarte hacia la Torre de la Vela en la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

Figura 065. Rectificación fotográfica por ASRix. Imágenes en alzado y perspectiva dentro de CAD de izquierda a derecha respectivamente. Restauración del Baluarte hacia la Torre de la Vela en la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

Figura 066. Ejemplo de ventana emergente con información temporal dentro del proceso fotogramétrico con Agisoft Photoscan. Fuente: Autor.

Figura 067. Modelo tridimensional fruto del trabajo fotogramétrico con Agisoft PhotoScan. Fuente: Autor.

Figura 068. Modelo tridimensional fruto del trabajo fotogramétrico con Photomodeler, Geomatic Studio y Rapidform. Fuente: Autor.

Figura 069. Proceso documental de una tronera del cubo de defensa del pilar de Carlos V, junto a la Puerta de la Justicia y toma fotogramétrica de la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

Figura 070. Proceso documental de una tronera del cubo de defensa del pilar de

Carlos V, junto a la Puerta de la Justicia y toma fotogramétrica de la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

Figura 071. Plantilla de calibrado del fabricante de Photomodeler Scanner. Fuente: Photomodeler.

Figura 072. Localización y orientación de cámaras resultado de la calibración con Photomodeler. Fuente: Autor.

Figura 073. Collage con muestra de proceso de calibrado por el método de Photomodeler. Cámaras vertical cabeceada a izquierda, horizontal y vertical cabeceada a derecha. Fuente: Autor.

Figura 074. Nube de puntos generada por Photomodeler de la tronera del cubo de defensa del pilar de Carlos V, junto a la Puerta de la Justicia de la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

Figura 075. Comparativa de distorsión de mallas generadas por PhotoScan y Photomodeler. Resultado obtenido con CloudCompare v.2. Fuente: Autor.

Figura 076. Comparativa de resultados entre Agisoft PhotoScan y Photomodeler para este supuesto práctico. Fuente: Autor.

Figura 077. Ejemplo de espacio de trabajo por bloques. Excavación arqueológica de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 078. Ejemplo de triangulación. Fuente: Realizado por el autor.

Figura 079. Ventana emergente en fase flujo de trabajo de orientación de fotos dentro de Agisoft PhotoScan. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 080. Máscaras de PhotoScan para ayudar al software fotogramétrico a no considerar aquello que no es objeto del levantamiento. Labores de conservación tras sismo. Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 081. Máscaras de PhotoScan para ayudar al software fotogramétrico a no considerar aquello que no es objeto del levantamiento. Labores de conservación tras sismo. Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 082. Captura de pantalla sobre la ventana de "imágenes" de PhotoScan. Proyecto de levantamiento con 57 fotografías con máscara. Labores de conservación tras sismo. Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 083. Labores de conservación tras sismo. Apuntalado de seguridad por des-

prendimiento y derribo. Vistas frontal y lateral. Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 084. Labores de conservación tras sismo. Apuntalado de seguridad por desprendimiento y derribo. Vistas frontal y lateral. Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 085. Labores de conservación tras sismo. Apuntalado de seguridad por desprendimiento y derribo. Vistas frontal y lateral. Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 086. Labores de conservación tras sismo. Apuntalado de seguridad por desprendimiento y derribo. Vistas frontal y lateral. Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 087. Solape entre ortofotografía y representación CAD del alzado norte general. Antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Representación lineal Jerónimo Granados, ortofotografía realizada por el autor.

Figura 088. Ventana emergente en fase flujo de trabajo de nube de puntos densa dentro de Agisoft PhotoScan. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 089. Collage densidad nube de puntos con PhotoScan. De izquierda a derecha: calidad mínima (181.295 puntos), baja (772.783 puntos), media, alta (9.469.209 puntos), extra alta (43.362.683 puntos). Detalle columnata esquina Palacio de los Córdova (Granada). Fuente: Autor.

Figura 090. Ventana emergente en fase flujo de trabajo de creación de malla dentro de Agisoft PhotoScan. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 091. Ventana emergente en fase flujo de trabajo para creación de textura sobre malla dentro de Agisoft PhotoScan. Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 092. Mapa UV bidimensional. Textura simplificada a un plano extraída de un modelo fotogramétrico 3D. Vivienda 10 excavación Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 093. Modelo tridimensional que fusiona la geometría con la textura fotorrealística. Vivienda 10 excavación Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 094. Perspectivas laterales del modelo tridimensional que fusiona la geometría con la textura fotorrealística. Vivienda 10 excavación Medina Siyâsa, Cieza

(Murcia). Fuente: Autor.

Figura 095. Perspectivas laterales del modelo tridimensional que fusiona la geometría con la textura fotorrealística. Vivienda 10 excavación Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 096. Collage modelo fotogramétrico (izquierda) realidad (derecha). Ejemplo de bordes de malla mal definidos fruto de una escasa limpieza en la nube de puntos o de la necesidad de máscaras fotográficas que delimiten el área de trabajo fotogramétrico. Zona exterior de la Puerta de la Justicia, Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

Figura 097. Relleno de huecos con herramienta de PhotoScan. Captura de pantalla de ventana emergente derivada del comando. Plataforma del Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 098. Alzado georreferenciado resultado del trabajo fotogramétrico. Tareas de levantamiento gráfico para la rehabilitación de la Alquería de Lo Marabú, Rojales (Alicante). Fuente: Autor.

Figura 099. Orientación y ubicación de cámaras por georreferenciado a partir de las coordenadas proporcionadas por el DJI Phantom en los metadatos de la fotografía. Tareas de levantamiento gráfico para la rehabilitación de la Alquería de Lo Marabú, Rojales (Alicante). Fuente: Autor.

Figura 100. Perspectiva a vista de pájaro del complejo de la Alquería. Tareas de levantamiento gráfico para la rehabilitación de la Alquería de Lo Marabú, Rojales (Alicante). Fuente: Autor.

Figura 101. Espacio de trabajo en PhotoScan en fase de escalado de modelos tridimensionales con valores de referencia tomados en la fase de trabajo de campo. Detalle zócalo de acceso a Iglesia Conventual de Santa Ana, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 102. Posibilidades generales de aplicación en torno a un modelo tridimensional generado por fotogrametría. Fuente: Autor.

Figura 103. Comparativa entre imagen real y recreación tridimensional fotorrealística en alta resolución generada con fotogrametría desde la misma perspectiva. Aljibe del Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 104. Comparativa entre imagen real y recreación tridimensional fotorrealística en alta resolución generada con fotogrametría desde la misma perspectiva. Aljibe del Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 105. Panorámica de fachada cubierta para labores de restauración de lona de PVC impresa con ortofoto generada por fotogrametría a escala real 1:1. Fachada principal del edificio histórico Palacio Almudí, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 106. Ortofotografía de la fachada principal del edificio histórico Palacio Almudí, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 107. Detalle de andamiaje y fachada de lona de PVC impresa con ortofoto generada por fotogrametría a escala real 1:1. Fachada principal del edificio histórico Palacio Almudí, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 108. Espacio de trabajo en PhotoScan y ventanas emergentes antes de exportar las ortofotografías. Zona exterior de la Puerta de la Justicia, Alhambra, Granada.

Figura 109. Tierras de terraplenado tras excavación en yacimiento arqueológico. Bayyana , Almería. Fuente: Autor.

Figura 110. Ejemplo de aplicación de la realidad aumentada en entornos comerciales. Logotipo del Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de la Región de Murcia proyectado virtualmente sobre la fachada de las instalaciones del COATIEMU. Fuente: Autor.

Figura 111. Demostración de muestras arquitectónicas y arqueológicas en realidad aumentada a diferentes rangos educativos y sociales con la intención de documentar, difundir y valorizar el patrimonio con esta herramienta. Semana de la Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia 2016. Fuente: Autor.

Figura 112. Marcador de referencia basado en imágenes patrón. Torre de las Infantas, Alhambra (Granada). Software empleado en ambos casos: Augment. Fuente: Autor.

Figura 113. Demostración de modelo 3D de la Torre de las Infantas, Alhambra (Granada) a través de la aplicación de realidad virtual. Software empleado en ambos casos: Augment. Fuente: Autor.

Figura 114. Collage demostración de la visita virtual en yacimiento arqueológico. Parque arqueológico de Olympia. Fuente: Fraunhofer Institute of Computer Graphics.

Figura 115. Uso de marcadores como apoyo al levantamiento de modelos tridimensionales relacionados con el patrimonio arqueológico. Murete en fase de excavación. Yacimiento arqueológico de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 116. Uso didáctico de las gafas Google Cardboard para la difusión del patrimonio arquitectónico generado por fotogrametría. Fuente: Autor.

Figura 117. Malla poligonal tridimensional con validez métrica en escala de colores RGB generado por fotogrametría. Interior de la Sala de Dos Hermanas, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 118. Modelo tridimensional generado por fotogrametría con el objetivo de hacer más accesible el patrimonio y como utensilio de apoyo a la investigación. Uso de la plataforma Sketchfab. Interior de la Sala de Dos Hermanas, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 119. Diferente perspectiva de visualización del modelo tridimensional generado por fotogrametría con el objetivo de hacer más accesible el patrimonio y como utensilio de apoyo a la investigación. Uso de la plataforma Sketchfab. Interior de la Sala de Dos Hermanas, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 120. Imagen percibida por el usuario con el dispositivo móvil integrado en el interior de las gafas de realidad virtual. Aljibe del Castillo de la Luz, Parque Regional Carrascoy y El Valle (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 121. Recreación de cráneo a escala real generado por impresión 3D empleando materiales de diferentes tonalidades. Fuente: Strastasys.

Figura 122. Reconstrucción en Roma (Italia) de un altorrelieve con impresión 3D del Museo Nacional de Palmira fruto de las labores de conservación del patrimonio destruido por el Estado Islámico. Fuente: Synchronetics.

Figura 123. Vista lateral. Modelo tridimensional generado por fotogrametría etiquetado con anotaciones históricas para facilitar su difusión social. Plataforma Sketchfab. Detalle interior del claustro del Monasterio de los Jerónimos, Guadalupe (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 124. Vista frontal. Modelo tridimensional generado por fotogrametría etiquetado con anotaciones históricas para facilitar su difusión social. Plataforma Sketchfab. Detalle interior del claustro del Monasterio de los Jerónimos, Guadalupe (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 125. Recreación 3D con los restos arqueológicos de diferentes épocas encontrados junto a la excavación La Antigua, Valladolid. Fuente: José Luis Martínez Jiménez de mobivap.

Figura 126. Modelo 3D fotorrealístico generado con fotogrametría del yacimiento arqueológico de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 127. Anastilosis realizada sobre modelo tridimensional generado por fotogrametría. Termas urbanas de Mérida con superposición de fases y remarcado de algunas piscinas en 3D. Fuente: Marco Aza Lozano.

Figura 128. Las zonas azules del mapa muestran dónde ha recogido Google imágenes de Street View. Fuente: Google.

Figura 129. Referencias geoposicionadas del Catálogo Monumental de España dentro de la interfaz de Google Earth. Fuente: Autor.

Figura 130. Composición de la interfaz de la web 3dwarehouse de Google con modelos tridimensionales generados por los usuarios. Fuente: Autor.

Figura 131. Estructura para la puesta en valor del patrimonio en torno a la cultura digital. Fuente: Autor.

Figura 132. Esquema de las fases del plan integral de intervención en el patrimonio. Fuente: Autor.

Figura 133. Ortofotografía fotogramétrica de alta resolución. Castillo de la Asomada, Puerto de la Cadena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 134. Perspectiva del encuentro entre muros de tapial afectados por desprendimiento. Castillo de la Asomada, Puerto de la Cadena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 135. Lateral de la muralla sur del Castillo de la Asomada, Puerto de la Cadena (Murcia) Fuente: Autor.

Figura 136. Collage fotográfico de la documentación gráfica detallada con objeto del trabajo fotogramétrico. Castillo de la Asomada, Puerto de la Cadena (Murcia) Fuente: Autor.

Figura 137. Localización de desperfectos, grietas, humedades, desprendimientos y desconchados representados en CAD por medio del apoyo en ortofotografía generada con fotogrametría (ver figura 087). Portada principal antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 138. Ortofotografía de una porción de la portada principal del antiguo Convento de la Merced, actual Centro de Visitantes de Lorca (Murcia). Fuente: Autor. Fuente: Autor.

Figura 139. Distribución de trabajos en la primera fase de intervención sobre el patrimonio. Fuente: Autor.

Figura 140. Análisis estratigráfico por método tradicional de la Puerta de Morón o Los Cuatro Cantillos, Recinto de la Madina. Marchena (Sevilla). Fuente: Tania Bellido Márquez.

Figura 141. Proceso de toma de datos por método directo con flexómetro de mano para posterior escalado del modelo generado por fotogrametría. Tronera del cubo de defensa del pilar de Carlos V, junto a la Puerta de la Justicia de la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

Figura 142. Proceso de toma de datos por método directo con flexómetro de mano para posterior escalado del modelo generado por fotogrametría. Tronera del cubo de defensa del pilar de Carlos V, junto a la Puerta de la Justicia de la Alhambra, Granada. Fuente: Autor.

Figura 143. Vista aérea para estudio inicial en detalle de las lesiones y reconocimiento físico-constructivo del Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor

Figura 144. Perspectiva hiperrealista generada con fotogrametría. Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 145. Vista aérea lateral noroeste. Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 146. Vista aérea lateral sureste. Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 147. Ortofotografía fotogramétrica de precisión métrica. Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 148. Ortofotografía fotogramétrica de precisión métrica. Castillo de Larache, Cabezo de Torres - Monteagudo (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 149. Alzado fotogramétrico de la Puerta de las Armas, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 150. Ubicación de la zona de intervención. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada) Fuente: Autor.

Figura 151. Fotografía de la cortina norte y flanco del baluarte visto desde el exterior con parte del pretil (ya derruido) a documentar en fase de conocimiento. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada) Fuente: Autor.

Figura 152. Cortina norte y flanco del baluarte visto desde el exterior. Pretil del Baluarte afectado por peligro de ruina. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada) Fuente: Autor.

Figura 153. Sección transversal del conjunto del Baluarte de la Alcazaba bajo la Torre de la Vela. Fuente: Servicio de Protección y Conservación de la Alhambra.

Figura 154. Primera toma de contacto con la zona. Se aprovecha la visita para mostrar el entorno donde se realizará la intervención a los alumnos de 5º curso de la Asignatura Protección, Restauración y Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico del Grado en Arquitectura de la Escuela Politécnica Superior de la UCAM. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 155. Collage con parte del reportaje fotográfico extenso realizado para la

documentación fotogramétrica del bien patrimonial. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 156. Tronera sobre la Torre de los Hidalgos. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 157. Tronera nº 4 en la cortina norte. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 158. Tronera nº 6 en el flanco del baluarte. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 159. Salida de agua a través de la tronera nº 5, cayendo al pie semienterrado de la muralla. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 160. Entorno de trabajo donde, posteriormente, se realizará la captura fotogramétrica. Cortina norte y flanco del Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 161. Representación croquizada del itinerario de trabajo. Barridos y solapes. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 162. Croquis detallado de itinerario fotográfico en encuentros y zonas conflictivas. Itinerario de trabajo: barridos y solapes. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 163. Perspectiva general del alzado norte desde la Mezquita del Partal a Torre de Mohamed, a la derecha el Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 164. Perspectiva tridimensional generada por fotogrametría. Textura RGB. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 165. Perspectiva tridimensional generada por fotogrametría. Textura RGB con la que se puede comprobar la morfología del alzado e identificar las zonas afectadas con pérdida de sección. Con esto es posible localizar la situación de las zonas a intervenir. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 166. Detalle de alzado en el que se muestra, en tonos azules, los lugares en los que se ha desarrollado pérdida de material y es necesario intervenir. Representación CAD generada por el dibujo sobre lineal sobre planimetría fotogramétrica. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 167. Ortofotografía de alta resolución generada por fotogrametría. Representación CAD lineal generada sobre la planimetría. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 168. Perspectiva tridimensional generada por fotogrametría. Textura RGB.

Selección de áreas y volúmenes bajo modelos 3D cerrados. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 169. Perspectiva tridimensional generada por fotogrametría. Textura RGB. Selección de áreas y volúmenes asimétricos bajo modelos 3D cerrados. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 170. Ortofotografía fotogramétrica de valor métrico para cálculo de superficies. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 171. Ortofotografía fotorrealística con valor métrico. Planimetría general del Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 172 (inferior). Ortofotografía fotorrealística en detalle con valor métrico de la zona afectada por pérdida de material/sección. Planimetría general del Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 173 (superior izquierda). Planimetría preexistente del baluarte en el archivo de la Alhambra. Se aprecia la deformación de la zona de evacuación de aguas con respecto a la verdadera ortogonalidad. Fuente: Patronato Alhambra.

Figura 174 (superior derecha). Ortofotografía fotogramétrica generada en fase de conocimiento. Fuente: Autor.

Figura 175 (inferior). Corrección no fotogramétrica de perspectivas por otras aplicaciones como ASRix. Fuente: Patronato Alhambra. Figura 176. Simulación de planos de sección sobre modelo tridimensional generado con fotogrametría. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 177. Secciones transversales generadas por corte con plano sobre modelo tridimensional fotogramétrico. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 178. Planimetría CAD generada a través de ortofotografía fotogramétrica. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 179. Collage con una muestra del informe fotográfico anexo generado de forma paralela al levantamiento fotogramétrico fruto de la amplia documentación gráfica desarrollada. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 180. Estudio pictográfico. Innecesario para el correcto estudio de este bien patrimonial pero posible con los resultados obtenidos con la fotogrametría digital. Baluarte de la Alcazaba. Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 181. Tronera 1 (superior) y 2 (inferior). Correspondencia modelo tridimensional y ortofotografía del conjunto de troneras del Baluarte de la Alcazaba. Generadas con fotogrametría digital. Alta resolución fotorrealística para un estudio por-

menorizado en gabinete de materiales y técnicas constructivas empleadas. Fuente: Autor.

Figura 182. Tronera 3 (superior) y 4 (inferior). Correspondencia modelo tridimensional y ortofotografía del conjunto de troneras del Baluarte de la Alcazaba. Generadas con fotogrametría digital. Alta resolución fotorrealística para un estudio pormenorizado en gabinete de materiales y técnicas constructivas empleadas. Fuente: Autor.

Figura 183. Tronera 5 (superior) y 6 (inferior). Correspondencia modelo tridimensional y ortofotografía del conjunto de troneras del Baluarte de la Alcazaba. Generadas con fotogrametría digital. Alta resolución fotorrealística para un estudio pormenorizado en gabinete de materiales y técnicas constructivas empleadas. Fuente: Autor.

Figura 184. Toma de datos por métodos tradicionales. Baluarte de la Alcazaba, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 185. Evolución arquitectónica y urbanística en torno al patrimonio. Importancia de la documentación gráfica. Antigua casa de los Salazar Rosso. Desde 1992 Museo Arqueológico de Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 186. Planimetría realizada por calco sobre la fotogrametría digital realizada a la antigua casa de los Salazar Rosso. Desde 1992 Museo Arqueológico de Lorca (Murcia). Fuente: Jerónimo Granados González; fotogrametría: Autor.

Figura 187. Cambio de uso en instalaciones del antiguo Cuartel de Instrucción de Marinería de Cartagena, actual Facultad de Ciencias de la Empresa de la universidad politécnica de Cartagena. Fuente: Autor.

Figura 188. Lateral y nexo de unión entre módulos. Antiguo Cuartel de Instrucción de Marinería de Cartagena, actual Facultad de Ciencias de la Empresa de la universidad politécnica de Cartagena. Fuente: Autor.

Figura 189. Esquema de etapas de trabajo en la fase de intervención integral 02, síntesis. Fuente: Autor.

Figura 190. Esquema de etapas de trabajo en la fase de intervención integral 02, proyecto. Fuente: Autor.

Figura 191. Empleo de técnicas tradicionales. Ejecución de un muro de tapial. Castillo de Alhama, Murcia. Fuente: Francisco Javier López Martínez.

Figura 192. Instalaciones de protección sobre excavación arqueológica. Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 193. Instalaciones de protección y sostenibilidad sobre excavación arqueolo-

lógica. Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 194. Plano de situación de curvas de nivel para definición actual del entorno a través de la fotogrametría. Fuente: Autor.

Figura 195. Modelo 3D generado por fotogrametría con el que generar MDT, Mula (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 196. Sección longitudinal generada con fotogrametría, 1ª fase de excavación yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 197. Modelo tridimensional de acabado RGB generado con fotogrametría con representación métrica de particiones, desniveles y valorización estructural de la excavación en el yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 198. Detalle improntas tapial vivienda 9 en yacimiento arqueológico de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 199. Detalle ortofotografía generada con fotogrametría para estudio de materialidad y estratigrafía en segundo cuerpo del alzado noreste del Monasterio de los Jerónimos, Guadalupe (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 200. Detalle con acabado RGB sobre levantamiento fotogramétrico de zona de evacuación (instalaciones) en muralla defensiva de la 1ª fase de excavación yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 201. Esquema de etapas de trabajo en la fase de intervención integral 02, proyecto. Fuente: Autor.

Figura 202. Esculturas decorativas sobre panteón derruidas por los efectos del terremoto. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Jerónimo Granados González.

Figura 203. Ubicación de la zona de intervención. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 204. Detalles de fachada, fachadas laterales, de verja y elevación de la fachada principal de proyecto original. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Ingeniero Riera, 1888.

Figura 205. Interior del panteón de Ezequiel García, 1911, objeto de proyecto y levantado con fotogrametría. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 206. Detalle de desprendimientos en panteón de Antonio García de Alcaraz. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Jerónimo Granados González.

Figura 207. Portada de la Memoria Valorada para garantizar la protección de los Panteones Históricos del Cementerio de San Clemente de Lorca. Fuente: Jerónimo Granados González.

Figura 208. Detalle de daños y situación de sillares en peligro de derrumbe en panteón de Adela Cachá Arcoya, 1919. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Jerónimo Granados González.

Figura 209. Representación croquizada del itinerario de trabajo. Barridos y solapes. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 210. Detalle perspectiva a nivel de suelo de zonas afectadas por vegetación cercana. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 211. Alzados norte y sur afectados por vegetación cercana y sombras acusadas. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 212. Alzados norte y sur afectados por vegetación cercana y sombras acusadas. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 213. Alzados norte y sur afectados por vegetación cercana y sombras acusadas. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 214. Collage con detalle de instrumental y salidas del control remoto del dron de DJI Phantom. Fuente: Autor.

Figura 215 (superior). Reconstrucción de la fase de vuelo vista en gabinete. Se nos permite visualizar la ruta de vuelo y comprobar las coordenadas en cada momento del recorrido realizado, la posición de los joystick, la localización exacta desde donde se realizaron las capturas fotográficas. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 216 (superior derecha). Itinerario de vuelo fotogramétrico en las labores de documentación aérea de los panteones. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 217 (inferior derecha). Posición inicial y final del itinerario de vuelo fotogramétrico. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 218. Fotografía in situ de detalle ornamental. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 219. Modelo tridimensional en escala de colores RGB generado con fotogra-

metría. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 220. Alzado con valor métrico de acabado fotorrealístico usando la fotogrametría. Módulo de panteones de la Calle de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 221. Collage con parte del reportaje fotográfico extenso realizado para la documentación fotogramétrica del bien patrimonial. Módulo de panteones del Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 222 (izquierda). Perspectiva superior del modelo tridimensional fotogramétrico del conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 223 (superior). Perspectiva inferior del modelo tridimensional fotogramétrico del conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 224. Planta general. La zona sombreada sitúa al Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 225. Trabajo fotogramétrico con PhotoScan sobre información extraída de Google Earth. Situación y entorno del Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 226. Perspectiva tridimensional sur. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 227. Perspectiva tridimensional norte. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 228. Planimetría de estado actual generada con fotogrametría. Acabado fotorrealístico. Conjunto de panteones estudiados del Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 229. Planimetría CAD obtenida del dibujo lineal realizado sobre el levantamiento fotogramétrico. Conjunto de panteones estudiados del Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 230. Perspectiva tridimensional con indicación de plano de corte longitudinal. Modelo fotogramétrico del conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 231. Planimetría generada tras la sección. Ortofotografía con valor métrico generada con fotogrametría digital. Conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 232. Perspectiva tridimensional con indicación de planos de corte transversal. Modelo fotogramétrico del conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 233. Collage con el conjunto de secciones transversales sobre modelo tridimensional. Panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 234. Planta. Panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 235. Detalle de zócalo. Panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 236. Collage de ortofotografías fotogramétricas de los frontones del conjunto de panteones estudiados en el Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 237. Ortofotografía del panteón de María del Buen Suceso Delgado, 1912. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 238. Ortofotografía del panteón de José Pallarés Arcas, 1914. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 237. Ortofotografía del panteón de Casalduero, 1914. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 238. Ortofotografía del panteón de José María Campoy Gómez, 1912. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 239. Ortofotografía del panteón de Ezequiel García, 1911. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 240. Ortofotografía del panteón de María del Buen Suceso Delgado, 1912. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 241. Representación lineal en CAD realizada sobre ortofotografía fotogramétrica. Ubicación de zonas a intervenir. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 242. Ortofotografía fotogramétrica. Ubicación de zonas a intervenir. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 243. Collage del reportaje fotográfico derivado del levantamiento fotogramétrico. Terrestres y aéreas. Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 244. Técnicos durante la toma de datos en campo por métodos tradicionales. Acceso al Cementerio de San Clemente, Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 245. Empleo de métodos, herramientas y materiales tradicionales y autóctonos. Tapial cercano a los Jardines del Generalife, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 246. Estaca de replanteo previo al inicio de las excavaciones arqueológicas en las inmediaciones de la Torre Nazarí de Huércal-Overa, Almería. Fuente: Autor.

Figura 247. Esquema de etapas de trabajo en la fase de intervención integral 03. Fuente: Autor.

Figura 248. Segunda fase de excavación de Bolvax. Instrumental topográfico para el levantamiento de la cuadrícula de apoyo y referencia. Al fondo Medina Siyâsa. Cieza, Murcia. Fuente: Autor.

Figura 249. Ubicación de la zona de intervención con respecto a ciudad de Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 250. Ubicación del yacimiento con respecto a la primera fase de excavación, Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 251. Porción de terreno a vista de dron de la zona seleccionada para excavar en segunda fase de actuación. A la izquierda se aprecia la primera fase de excavación ya protegida. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 252. Ubicación de primera y segunda excavación con respecto al vial más próximo (MU-512). Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 253. Búsqueda de referencias y documentación fotográfica del proceso. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 254. Limpieza y desbroce de la cuadrícula objeto de la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 255. Puesta a punto del dron antes de comenzar el vuelo fotogramétrico. Fuente: Autor.

Figura 256. Artefacto arrojado hallado durante la excavación. Fuente: Autor. Bolvax, Cieza (Murcia).

Figura 257. Limpieza en detalle previo a la elaboración de croquis de campo para apoyo a la documentación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 258. Cribado de tierras extraídas por desmonte. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 259. Croquis detallado de cuadrícula de actuación con coordenadas XYZ por vértice. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 260. Proceso de levantamiento desde primera etapa de excavación con esta-

ción total para definición de vértices de la cuadrícula de excavación de la segunda etapa. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 261. Dron antes del despegue para la elaboración del vuelo general. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

Figura 262. Modelo tridimensional generado por fotogrametría y localización y orientación de tomas fotográficas (cuadrícula azul). Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

Figura 263. Ortofotografía general del entorno de la excavación generado por fotogrametría. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

Figura 264. Collage con parte del reportaje fotográfico extenso realizado para la documentación fotogramétrica del yacimiento. Segunda fase de excavación del yacimiento arqueológico de Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 265. Cribado de las tierras extraídas en fase de extracción. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 266. Visitas guiadas realizadas durante la etapa de excavación para concienciar y difundir a la sociedad de la importancia de la excavación y restos hallados. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 267. Tapado y protección de los restos excavados una vez finalizada la ejecución de la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 268. Trabajo de gabinete para selección y documentación de hallazgos en el yacimiento. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 269. Trabajo de croquizado por método tradicional. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 270. Alzado orientación sureste del plano de situación de la intervención obtenido por fotogrametría aérea. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

Figura 271. Tabla informativa que sirve de base orientadora para la cuadrícula de apoyo a la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

Figura 272. Planta general de Bolvax bajo cuadrícula de trabajo georreferenciada. Generada empleando la fotogrametría digital aérea. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

Figura 273. Localización del área de excavación y cuadrícula de superficie conocida entre vértices de coordenadas obtenidas por métodos de topografía clásica sobre planimetría obtenida con fotogrametría digital. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Hábitat.

Figura 274. Detalle de la ladera de intervención en la que se encuentran la primera (ya protegida) y segunda (en estado natural y señalada bajo sombreado) fase de excavación arqueológica. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.<sup>5</sup>

Figura 275. Perspectiva sobre modelo tridimensional en la que se ubica la excavación arqueológica. Generado con fotogrametría digital. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 276. Planimetría generada con fotogrametría. Modelo digital del terreno o de elevaciones. Orografía del terreno natural acotado por curvas de nivel de coordenadas relativas. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 277. Malla tridimensional generada con PhotoScan con curvas de nivel de coordenadas relativas sobre el terreno natural. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 278. Ortofotografía fotogramétrica bajo cuadrícula georreferenciada y ubicación de puntos de cata y prospección. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 279. Collage con parte del reportaje fotográfico intensivo realizado para la documentación fotogramétrica del bien patrimonial. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 280. Perspectiva tridimensional sobre modelo de terreno fotorrealístico generado con fotogrametría. Primera fase cronológica de excavación: Terreno en estado natural. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 281. Perspectiva tridimensional sobre modelo de terreno fotorrealístico generado con fotogrametría. Segunda fase cronológica de excavación: Inicio de la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 282. Perspectiva tridimensional sobre modelo de terreno fotorrealístico generado con fotogrametría. Tercera fase cronológica de excavación: Final de las tareas de excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 283. Perspectiva tridimensional sobre modelo de terreno fotorrealístico generado con fotogrametría. Cuarta fase cronológica de excavación: Yacimientos protegidos. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 284. Perspectiva tridimensional en detalle sobre modelo de terreno fotorrealístico generado con fotogrametría. Primera fase cronológica de excavación: Terreno en estado natural. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 285. Perspectiva tridimensional en detalle sobre modelo de terreno fotorrealístico generado con fotogrametría. Segunda fase cronológica de excavación: Inicio de la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 286. Perspectiva tridimensional en detalle sobre modelo de terreno fotorealístico generado con fotogrametría. Tercera fase cronológica de excavación: Final de las tareas de excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 287. Perspectiva tridimensional en detalle sobre modelo de terreno fotorealístico generado con fotogrametría. Cuarta fase cronológica de excavación: Yacimientos protegidos. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 288. Ortofotografía con valor métrico generada con fotogrametría digital. Primera fase cronológica de excavación: Terreno en estado natural. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 289. Ortofotografía con valor métrico generada con fotogrametría digital. Segunda fase cronológica de excavación: Inicio de la excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 290. Ortofotografía con valor métrico generada con fotogrametría digital. Tercera fase cronológica de excavación: Final de las tareas de excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 291. Ortofotografía con valor métrico generada con fotogrametría digital. Cuarta fase cronológica de excavación: Yacimientos protegidos. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 292. Proyección ortográfica con valor métrico generada con fotogrametría digital. Vistas en perspectiva (central), alzado (superior), lateral (izquierda y derecha) y planta (inferior). Tercera fase cronológica de excavación: Final de las tareas de excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 293. Collage con identificación de muros, derrumbes, adobes, pavimento de tierra apisonada y perfiles de excavación. Modelos 3D con validez métrica para obtención de proyecciones ortográficas, secciones e inspección en tiempo real. Tercera fase cronológica de excavación: Final de las tareas de excavación. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 294. Localización sobre ortofotografía fotogramétrica que delimita el área de excavación (azul) y las zonas pendientes de excavar en futuras campañas (naranja). Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 295. Comparativa de resultados estratigráficos en croquis de trabajo realizado en campo por metodología tradicional. Bolvax, 1ª fase, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 296. Comparativa de resultados estratigráficos planimetría fotogramétrica obtenida en campo con vuelo dron y ordenador portátil. Bolvax, 1ª fase, Cieza

(Murcia). Fuente: Autor.

Figura 297. MDT. Terreno natural. Bolvax (Cieza). Realizado: Autor.

Figura 298. MDT. Inicio excavación. Bolvax (Cieza). Realizado: Autor.

Figura 299. MDT. Fin de excavación. Bolvax (Cieza). Realizado: Autor.

Figura 300. MDT. Protección/tapado. Bolvax (Cieza). Realizado: Autor.

Figura 301. Postprocesado de nube de puntos comparando el terreno natural con el terreno una vez finalizada la excavación. Las tonalidades azules indican rellenos, las amarillas desmontes y las verdes continuidad volumétrica. CloudCompare v.02. Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 302. Modelo 3D en perspectiva de la primera fase de excavación en Bolvax (Cieza). Modelo generado con fotogrametría digital. Planos de sección. Fuente: Autor.

Figura 303. Collage con planos de sección para documentación a escala de alzados interiores del yacimiento. Modelos generados con fotogrametría digital. Primera fase de excavación en Bolvax (Cieza). Planos de sección. Fuente: Autor.

Figura 304. Técnicos en fase de toma de datos por métodos tradicionales. Excavación arqueológica de Bolvax, Cieza (Murcia). Fuente: María José Morcillo Sánchez.

Figura 305. Presentación de resultados fotogramétricos al final de la primera etapa de excavación en el yacimiento arqueológico de Bolvax. Museo Arqueológico de Murcia (MAM). Fuente: Autor.

Figura 306. Interior de las instalaciones del Museo de Siyâsa, reconstrucción a escala de vivienda excavada en Medina Siyâsa. Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 307. Representación tridimensional para difusión generada con fotogramétrica de una estancia de la vivienda nº 10 en la excavación arqueológica de Medina Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 308. Reconstrucción de una de las viviendas excavadas en el yacimiento de Medina Siyâsa mejorando su entendimiento y visualización social. Interior del Museo de Siyâsa, Cieza (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 309. Demostración e interacción de visitantes al stand con modelos virtuales generados con fotogrametría empleando la realidad aumentada. Semana de la Ciencia de Murcia, 2015. Fuente: Autor.

Figura 310. Esquema de etapas de trabajo en la fase de intervención integral 04. Fuente: Autor.

Figura 311. Submarino Peral expuesto en el Paseo Marítimo de Cartagena, 2007. Proa mirando al mar. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 312. Submarino Peral en el interior de la antigua nave de fundición del arsenal militar. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 313. Uso de dianas artificiales imantadas para el levantamiento fotogramétrico de tubo lanzatorpedos. Museo Naval de Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 314. Preparado de dianas impresas y adheridas sobre láminas imantadas que permitan emplearse sobre patrimonio industrial férreo sin dañar su superficie. Fuente: Autor.

Figura 315. Submarino Peral expuesto en el Paseo Marítimo de Cartagena, 2007. Cartagena (Murcia). Fuente: Jorge Espín García.

Figura 316. Collage del estado interior y exterior del Submarino Peral antes de reubicarlo en la Sala Peral. Cartagena. Cartagena (Murcia). Fuente: Jorge Espín García.

Figura 317. Maniobra de traslado sobre plataforma remolcadora para posterior depósito en la antigua nave de fundición del arsenal militar de Cartagena (Murcia). Fuente: Jorge Espín García.

Figura 318. Proceso de levantamiento fotogramétrico en torno al submarino Peral por uno de los miembros del Aula de Arquitectura Militar de la UCAM. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 319. Situación en planta del submarino Peral dentro de la sala de exposición. Las zonas sombreadas corresponden a huecos de puerta y ventana. Sala Isaac Peral, Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 320. Representación croquizada del itinerario de trabajo fotogramétrico. Barridos y solapes. Sala Isaac Peral, Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 321 (superior). Panorámica Museo Naval de Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 322 (central). Panorámica de la zona de acceso a la Sala Peral. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 323 (inferior). Panorámica interior de la Sala Peral ya terminada. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 324. Collage con parte del reportaje fotográfico extenso realizado para la documentación fotogramétrica del bien patrimonial. Sala Isaac Peral, Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 325. Perspectiva tridimensional del modelo del submarino Peral generado por fotogrametría. Las referencias azules indican la cronología fotográfica (posición e inclinación). Babor del submarino. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 326. Distribución de dianas naturales en uno de los laterales de El Peral. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 327. Perspectiva tridimensional del modelo del submarino Peral generado por fotogrametría. Las referencias azules indican la cronología fotográfica (posición e inclinación). Popa del submarino. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 328. Correlación y posición de porciones durante el trabajo de levantamiento. Modelo 3D generado por fotogrametría. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 329. Correlación y posición 2. Trabajo de levantamiento. Modelo 3D generado por fotogrametría. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 330. Correlación y posición 3. Trabajo de levantamiento. Modelo 3D generado por fotogrametría. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 331. S.A.R. el Rey Felipe VI (en aquel momento Príncipe de Asturias D. Felipe de Borbón y Grecia) preside el acto de inauguración de la Sala Isaac Peral durante los actos conmemorativos del 125 aniversario de la botadura del submarino Peral. 12 de septiembre de 2013. Autor: Abel F. Ros

Figura 332. Panorámica de la zona de acceso al Museo Naval de Cartagena desde la Sala Peral. Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 333. Planimetría submarino. Fuente: Archivo Base Naval Cartagena.

Figura 334. Collage del alzado fotogramétrico para obtención de planimetría de exposición y musealización. Fuente: Autor.

Figura 335. Firma del convenio de colaboración entre la Fundación Repsol y la Fundación Museo Naval. Fondo planimetría Peral. Fotografía Abel F. Ros.

Figura 336. Vídeo subacuático para exposición generado con el modelo tridimensional fotogramétrico. Materialidad añadida en postproducción. Sala Isaac Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

Figura 337. Vídeo subacuático, vista lateral, para exposición generado con el modelo tridimensional fotogramétrico. Materialidad añadida en postproducción. Sala Isaac Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

Figura 338. Vídeo subacuático para exposición réplica idealizada similar a la volumetría real. Materialidad irreal. Sala Isaac Peral (Cartagena). Fuente: Juan C. Sánchez.

Figura 339. Fotomontaje del submarino Peral obtenido con fotogrametría. Imagen ilustrativa en puerto marítimo. Sala Isaac Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

Figura 340. Modelo tridimensional para demostración de uso y constitución. Coordinación y desarrollo de Contenido Multimedia. Sala Isaac Peral, (Cartagena).

Fuente: Autor (exterior) y Juan C. Sánchez (interior).

Figura 341. Levantamiento fotogramétrico. Documentación gráfica recopilada en la etapa de restauración y que sirve de base para describir a los visitantes la intervención realizada y su cronología. Sala Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

Figura 342. Levantamiento fotogramétrico. Documentación gráfica recopilada en la etapa de restauración y que sirve de base para describir a los visitantes la intervención realizada y su cronología. Sala Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

Figura 343. Levantamiento y materialidad idealizada. Comparativa fotorrealidad y simulación. Sala Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

Figura 344. Collage fotográfico. Levantamiento fotogramétrico. Documentación gráfica recopilada en la etapa de restauración y que sirve de base para describir a los visitantes la intervención realizada y su cronología. Sala Peral (Cartagena). Fuente: Autor.

Figura 345 (derecha). La recuperación del submarino es un gran proyecto cultural que ha permitido potenciar la identidad social de un territorio como un elemento patrimonial y símbolo para los ciudadanos que participan en todas las actividades que se programan. Autor: Abel F. Ros.

Figura 346. Instrumentación de trabajo de referencia para la tesis en levantamientos fotogramétricos digitales. Fuente: Autor.

Figura 347. Interfaz renovada de Agisoft PhotoScan. Captura de pantalla para versión 1.3.1. Fuente: Autor.

Figura 348. Levantamiento fotogramétrico sobre personas. Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 349. Levantamiento fotogramétrico sobre personas. Lorca (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 350. Nube de puntos densa dentro de la interfaz de Agisoft PhotoScan. Levantamiento de bustos humanos. Fuente: Autor.

Figura 351. Malla renderizada de busto humano femenino generado con fotogrametría digital antes de su impresión 3D. Fuente: Autor.

Figura 352. Malla renderizada de busto humano masculino generado con fotogrametría digital antes de su impresión 3D. Fuente: Autor.

Figura 353. Modelo volumétrico complejo tridimensional generado con fotogrametría digital terrestre. Iglesia de Santa María del Castillo, Cervera de Pisuerga (Palencia). Fuente: Autor.

Figura 354. Modelo volumétrico complejo tridimensional generado con fotogrametría

tría digital aérea. Alquería-Casa Palacio de Lo Marabú, Rojales (Alicante). Fuente: Autor.

Figura 355. Captura de pantalla de la interfaz de PhotoScan. Ejemplo de trabajo con capas/bloques aislados, referenciados (R) y fusionados. Fuente: Autor.

Figura 356. Croquis de campo para la toma de medidas de escalado referenciadas a los tres ejes del espacio. Polígono Industrial Molina de Segura, (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 357 (izquierda). Localización, medida y valoración de daños sin mantener contacto directo con ellos. No necesidad de medios auxiliares de elevación. Puerta de las Armas, Alhambra (Granada). Fuente: Autor.

Figura 358 (inferior). Collage fase de levantamiento por fotogrametría digital de tubo lanzatorpedos en interior y modelo 3d generado. Necesario el uso de luz artificial, dianas imantadas y trípode. Museo Naval de Cartagena (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 359. Gráfica integral de parámetros dentro de un proceso de intervención integral según Rehabimed. Color verde indica apartados contenidos, dentro de cada fase, en los que la fotogrametría ha resuelto la necesidad gráfica del caso concreto expuesto en el capítulo 4 de esta tesis. Fuente: Autor.

Figura 360. Explicación a alumnos de secundaria de la importancia de la protección y difusión del patrimonio y las posibilidades de empleo de nuevas tecnologías en el desempeño de estas labores. IES Samaniego, Alcantarilla (Murcia). Fuente: Autor.

Figura 361. Reconstrucción tridimensional, base de figura malla coloreada y rostro acabado RGB, generada con fotogrametría sobre figura de la Virgen del Río, patrona de Huércal-Overa (Almería). Fuente: Autor.

## B. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 001. Tabla resumen de variedades jurídico-documentales. Fuente: Autor.

Tabla 002. Tabla resumen de directrices reseñables. Fuente: Autor.

Tabla 003. Histograma de categorías de protección de acuerdo con la Ley 16/1985. Fuente: Autor.

Tabla 004. Tabla comparativa de cámaras semiprofesionales de las principales marcas con las alternativas de mercado dentro del mismo rango precio/especificaciones. Fuente: Autor.

Tabla 005. Especificaciones técnicas para el modelo DJI Phantom Profesional. Fuente: Realizado por el autor de acuerdo con lo dispuesto por el fabricante del RPA.

Tabla 006. Comparativa de resultados y desviaciones de calibrado en torno a Sony Nex-5 18mm formato imagen TIFF orientación horizontal. Fuente: Autor.

Tabla 007. Desglose de coeficientes y parámetros determinados por el software de calibrado. Fuente: Autor.

Tabla 008. Desglose de especificaciones de los principales software de trabajo fotogramétrico del mercado tras prueba real de uso. Fuente: Autor.

Tabla 009. Comparativa de tiempos y polígonos generados para una misma geometría, requerimientos en software y fotografías. Fuente: Autor.

Tabla 010. Comparativa de los software seleccionados según el apartado 3.1.1.1 de la presente tesis. Color verde indica aprobación. Fuente: Autor.

Tabla 011. Tabla resumen por zonas de trabajo con sus respectivos rendimientos fotográficos y temporales. Fuente: Autor.

Tabla 011. Tabla resumen por zonas de trabajo con sus respectivos rendimientos fotográficos y temporales. Información detallada obtenida de la libreta de campo y contrastada con los metadatos de las imágenes. Fuente: Autor.

Tabla 012. Documentación gráfica exigible a intervenciones en fase de conocimiento. Fuente: Realizada por el autor de acuerdo con los requerimientos del Informe Diagnóstico y propuesta de Intervención de la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.

Tabla 013. Tabla comparativa de rendimientos entre los sistemas de trabajo tradicionales efectuados en esta misma etapa y los resultados obtenidos del empleo de la fotogrametría. Fuente: Autor.

Tabla 014. Tabla resumen fases de vuelo, número de fotografías, tiempo, altura máxima alcanzada y baterías consumidas durante el trabajo fotogramétrico. Fuente:

te: Autor.

Tabla 015. Datos de vuelo. Planificación del trabajo de levantamiento por fotogrametría aérea. Fuente: Autor.

Tabla 016. Tabla resumen fases de vuelo, número de fotografías, tiempo, altura máxima alcanzada y baterías consumidas durante el trabajo fotogramétrico. Fuente: Autor.

Tabla 017. Datos de vuelo. Planificación del trabajo de levantamiento por fotogrametría aérea. Fuente: Autor.

Tabla 018. Tabla resumen por zonas de trabajo con sus respectivos rendimientos fotográficos y temporales. Información detallada obtenida de la libreta de campo y contrastada con los metadatos de las imágenes. Fuente: Autor.

Tabla 019. Tabla resumen por zonas de actuación fotogramétrica. Fuente: Autor.

Tabla 020. Documentación gráfica exigible a intervenciones en fase de proyecto. Fuente: Realizada por el autor de acuerdo con los requerimientos de la Ley 2/1974 de 13 de febrero y el Real Decreto 1000/2010 de 5 de agosto.

Tabla 021. Tabla comparativa de rendimientos entre los sistemas de trabajo tradicionales efectuados en esta misma etapa y los resultados obtenidos del empleo de la fotogrametría. Fuente: Autor.

Tabla 022. Tabla resumen fases de vuelo, número de fotografías, tiempo, altura máxima alcanzada y baterías consumidas durante el trabajo fotogramétrico. Fuente: Autor.

Tabla 023. Datos de vuelo. Planificación del trabajo de levantamiento por fotogrametría aérea. Fuente: Autor.

Tabla 024. Tabla resumen por zonas de trabajo con sus respectivos rendimientos fotográficos y temporales. Información detallada obtenida de la libreta de campo y contrastada con los metadatos de las imágenes. Fuente: Autor.

Tabla 025. Tabla resumen por zonas de actuación fotogramétrica. Fuente: Autor.

Tabla 026. Documentación gráfica exigible a intervenciones en fase de ejecución. Fuente: Realizada por el autor de acuerdo con el al Reglamento de Actividades Arqueológicas de la Consejería de Cultura a 17 de junio en su Decreto 168/2003 y en desarrollo de la Ley 1/1991 de 3 de julio para el Patrimonio Histórico de Andalucía.

Tabla 027. Tabla comparativa de rendimientos entre los sistemas de trabajo tradicionales efectuados en esta misma etapa y los resultados obtenidos del empleo de la fotogrametría. Fuente: Autor.

Tabla 028. Tabla resumen por zonas de trabajo con sus respectivos rendimientos fotográficos y temporales. Información detallada obtenida de la libreta de campo y contrastada con los metadatos de las imágenes. Fuente: Autor.

Tabla 029. Tabla resumen por zonas de actuación fotogramétrica. Fuente: Autor.

Tabla 030. Documentación gráfica en fase de musealización de El Peral. Fuente: Realizada por el autor de acuerdo con los requerimientos del equipo técnico de la intervención.

Tabla 031. Tabla comparativa de rendimientos entre los sistemas de trabajo tradicionales efectuados en esta misma etapa y los resultados obtenidos del empleo de la fotogrametría. Fuente: Autor.

Tabla 032. Memoria RAM estimada como necesaria/ apropiada. Relación cantidad de fotografías - calidad de malla. Fuente: Autor de acuerdo con las recomendaciones de Agisoft.

Tabla 033. Grado de adecuación de la fotogrametría digital en cada una de las fases de intervención según los resultados de las experiencias desarrolladas en el capítulo 4. Fuente: Autor.

Tabla 034. Resumen de rendimientos del estudio temporal por fases del capítulo 4. Fuente: Autor.

