



ARCHIVO DEL LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO

LABORATORY FOR THE GEOMETRIC DOCUMENTATION OF
HERITAGE'S ARCHIVE

Sección de proyectos fin de carrera / Undergraduate master
projects section

17

Información general / General information		
AUTOR:	Diana ALONSO ARANSAY	:AUTHOR
TUTOR:	Álvaro RODRÍGUEZ MIRANDA José Manuel VALLE MELÓN	:TUTOR
TITULACION:	Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía. Escuela Universitaria de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (UPV-EHU)	:DEGREE
TITULO:	Modelización 3D y visualización mediante Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Valldigna (Valencia)	:TITLE
FECHA:	febrero 2017 / February 2017	:DATE
NUMERO:	LDGP_pfc_017	:NUMBER
IDIOMA:	español / Spanish	:LANGUAGE

Resumen	
TITULO:	Modelización 3D y visualización mediante Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Valldigna (Valencia)
RESUMEN:	<p>En la realización del presente proyecto, se pretende explicar la obtención del modelo tridimensional del Monasterio de Santa María de la Valldigna mediante el vuelo fotogramétrico de un dron, y su visualización en Realidad Aumentada a través de un dispositivo móvil.</p> <p>El trabajo se ha estructurado en varios capítulos, en dos de ellos se desarrolla un marco teórico para poder conocer las principales características que ofrecen los drones y la Realidad Aumentada, y en el resto de capítulos se encuentra todo el desarrollo práctico necesario para cumplir con los objetivos fijados. La parte práctica se divide en dos fases principales: por un lado, la toma fotográfica y el procesamiento de datos y, por otro lado, el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada.</p> <p>La mayoría de las imágenes tomadas han sido aéreas, empleando sistemas de vehículos aéreos tripulados remotamente (RPAS), y también mediante el uso de alguna imagen terrestre.</p> <p>El modelo del monasterio se ha obtenido mediante el software Pix4D Mapper Pro, que se basa en algoritmos del tipo Structure From Motion, mientras que la aplicación para dispositivos móviles de Realidad Aumentada se ha conseguido mediante el programa de creación de videojuegos Unity 3D.</p> <p>Para concluir, se ha realizado un análisis de los resultados obtenidos y, por último se expresan las posibles ventajas e inconvenientes del uso de esas tecnologías en estetipo de trabajos.</p>
DESCRIPTORES NATURALES:	modelo 3D, Structure from Motion (SfM), RPAs, dron, Realidad Aumentada
DESCRIPTORES CONTROLADOS:	(Procedentes del Tesouro UNESCO [http://databases.unesco.org/thessp/]) Patrimonio Cultural, Edificio Religioso, Infografía

Abstract	
TITLE:	3D Modeling and visualization by means of Augmented Reality of the Monastery of Santa maría de la Valldigna (Valencia, Spain)
ABSTRACT:	<p>The aim for this Project is the generation of a three-dimensional model of Santa María de la Valldigna Monastery by means of aerial photogrammetry from drone / Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and the display in a smartphone using Augmented Reality (AR).</p> <p>This report is organized in several chapters. In two of them a theoretical framework is presented so as to inform the reader about the main characteristics that drones and Augmented Reality offer to Geomatics. The rest of work is devoted to the practical issues that are necessary to accomplish the initial objectives.</p> <p>The practical part is divided into two main stages: On the one hand, the photographic capture and data processing. And, on the other hand, the development of the application of Augmented Reality.</p> <p>Most of the pictures are aerial ones, taken from a Remotely Piloted Aircraft (RPA). In addition, some photographs taken from ground were also used. The digital model of the Monastery was generated with the software Pis4D Mapper Pro, which is based on Structure From Motion (SfM) algorithms, while the application for mobile devices of Augmented Reality was created using the software of videogames creation Unity 3D.</p> <p>Finally, results were analyzed and a report on the advantages and disadvantages of the used procedure in this kind of projects.</p>
NATURAL KEYWORDS:	3D model, Structure from Motion (SfM), RPAS, drone, Augmented Reality
CONTROLLED KEYWORDS:	(From the UNESCO's thesaurus [http://databases.unesco.org/thesaurus/]) Cultural Heritage, Religious Buildings, Computer Graphics

Derechos / Rights		
DERECHOS:	<p>Está permitido citar y extraer el texto, siempre que la fuente sea claramente identificada (respecto a la consideración de "no comercial" ver el apartado "otros derechos"). / Permission is granted to quote and take excerpts from this text, provided that the source of such material is fully acknowledged (for the "non commercial" label see below in "others rights").</p> 	:RIGHTS
OTROS:	<p>Algunas imágenes y planos corresponden a proyectos de documentación realizados por encargo y, en consecuencia, su uso comercial puede infringir derechos de explotación de los promotores. / Some pictures and plans come for the documentation of commissioned projects, therefore, their use for comercial purposes may be an infringement of the promoters rights.</p>	:OTHERS

Renuncia de responsabilidad / Disclaimer		
DESCARGO:	El uso de la información contenida en este documento se hará bajo la completa responsabilidad del usuario. / The use of the information contained in this document will be under the exclusive responsibility of the user.	:DISCLAIMER

Reutilización / Re-use

REUTILIZACION:	<p>Los siguientes términos corresponden al Real Decreto 1495/2011, de 24 de octubre por el que se desarrolla la Ley 37/2007, de 16 de noviembre, sobre reutilización de la información del sector público, para el ámbito del sector público estatal.</p> <p>"Son de aplicación las siguientes condiciones generales para la reutilización de los documentos sometidos a ellas:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Está prohibido desnaturalizar el sentido de la información.2. Debe citarse la fuente de los documentos objeto de la reutilización. Esta cita podrá realizarse de la siguiente manera: "Origen de los datos: [órgano administrativo, organismo o entidad del sector público estatal de que se trate]".3. Debe mencionarse la fecha de la última actualización de los documentos objeto de la reutilización, siempre cuando estuviera incluida en el documento original.4. No se podrá indicar, insinuar o sugerir que la [órgano administrativo, organismo o entidad del sector público estatal de que se trate] titular de la información reutilizada participa, patrocina o apoya la reutilización que se lleve a cabo con ella.5. Deben conservarse, no alterarse ni suprimirse los metadatos sobre la fecha de actualización y las condiciones de reutilización aplicables incluidos, en su caso, en el documento puesto a disposición para su reutilización." <p style="text-align: center;">/</p> <p>The following terms come from the Royal Decree 1495/2011, of 24th October 2011, whereby the Law 37/2007, of November 16, on the re-use of public sector information, is developed for the public state sector.</p> <p>"The following general terms shall apply to all re-usable document availability methods:</p> <ol style="list-style-type: none">1. The information must not be distorted.2. The original source of re-usable documents must be cited.3. The date of the latest update of re-usable documents must be indicated when it appears in the original document.4. It must not be mentioned or suggested that the public sector agencies, bodies or entities are involved in, sponsor or support the re-use of information being made.5. Metadata indicating the latest update and the applicable terms of re-use included in re-usable documents made available by public agencies or bodies must not be deleted or altered."	:RE-USE
----------------	--	---------

Estructura / Framework		
ID PERMANENTE:	http://hdl.handle.net/10810/20606	:PERMANENT ID
ESTRUCTURA:	<ul style="list-style-type: none"> • Idgp_pfc017_DianaAU.pdf: este documento / this document. 	:FRAMEWORK

Cita completa recomendada / Recommended full citation		
CITA:	ALONSO ARANSAY, Diana. <i>Modelización 3D y visualización mediante Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Valldigna (Valencia)</i> . Trabajo Fin de Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía. Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz (Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU). 2017.	:CITATION

ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA DE VITORIA-GASTEIZ



TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía

Modelización 3D y visualización mediante Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Valldigna (Valencia)

Alumno:

Diana Alonso Aransay

Tutores:

Dr. Álvaro Rodríguez Miranda

Dr. José Manuel Valle Melón



Vitoria-Gasteiz, Febrero 2017





Agradecimientos

Aquí acaba una aventura que comenzó hace poquito más de cuatro años. En ningún momento supe que quería estudiar Geomática, pero quedé totalmente prendida de la Cartografía cuando nos enseñaron nuestro primer mapa topográfico.

Primero, quiero agradecer a mis tutores del proyecto, el Dr. Álvaro Rodríguez y el Dr. José Manuel Valle. A pesar de la diferencia de distancia, han respondido y aclarado todas mis dudas en cuestión de segundos. Y han conseguido trasmitirme su entusiasmo, su conocimiento y su dedicación.

También agradecer a mis compañeros y a la empresa “*Dronespain*”, por brindarme esta magnífica oportunidad.

Dar las gracias a la escuela y a todos los profesionales que trabajan en ella, por hacer posible mi año de intercambio universitario y mi período de prácticas. Me dieron la oportunidad de vivir una de las mejores experiencias de mi vida.

También recordar a mis compañeros “topos” de Vitoria, y a toda mi familia “Sicue-Valenciana” por hacer que estar fuera de casa a penas se note.

A Álvar, que siempre ha estado ahí.

A mi familia. A Husky, que se fue demasiado pronto. A mi madre, por ser la persona más luchadora, creativa e innovadora del mundo. A mi padre, por ayudarme a ser constante y a hacerme llegar hasta donde estoy ahora. Y a mi hermana Minerva, que ha sido y será siempre mi ejemplo a seguir.

Y, por último, a todos aquellos que han contribuido con una gotita a este proyecto. Y en especial a mi abuelo Juan, que es probable que no llegue ni a leer ni a comprender este trabajo, pero fue la primera persona que me trasmitió su curiosidad por las cosas.

De todo corazón, gracias a todos y cada uno de vosotros.





Resumen

En la realización del presente proyecto, se pretende explicar la obtención del modelo tridimensional del Monasterio de Santa María de la Valldigna mediante el vuelo fotogramétrico de un dron, y su visualización en Realidad Aumentada a través de un dispositivo móvil.

El trabajo se ha estructurado en varios capítulos, en dos de ellos se desarrolla un marco teórico para poder conocer las principales características que ofrecen los drones y la Realidad Aumentada, y en el resto de capítulos se encuentra todo el desarrollo práctico necesario para cumplir con los objetivos fijados.

La parte práctica se divide en dos fases principales: por un lado, la toma fotográfica y el procesamiento de datos y, por otro lado, el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada.

La mayoría de las imágenes tomadas han sido aéreas, empleando sistemas de vehículos aéreos tripulados remotamente (RPAS), y también mediante el uso de alguna imagen terrestre.

El modelo del monasterio se ha obtenido mediante el software *Pix4D Mapper Pro*, que se basa en algoritmos del tipo *Structure From Motion*, mientras que la aplicación para dispositivos móviles de Realidad Aumentada se ha conseguido mediante el programa de creación de videojuegos *Unity 3D*.

Para concluir, se ha realizado un análisis de los resultados obtenidos y, por último se expresan las posibles ventajas e inconvenientes del uso de esas tecnologías en este tipo de trabajos.

Palabras Clave: modelo 3D, Structure from Motion (SfM), RPAs, dron, Realidad Aumentada





Abstract

The aim for this Project is the generation of a three-dimensional model of Santa María de la Valldigna Monastery by means of aerial photogrammetry from drone /*Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* and the display in a smartphone using Augmented Reality (AR).

This report is organized in several chapters. In two of them a theoretical framework is presented so as to inform the reader about the main characteristics that drones and Augmented Reality offer to Geomatics. The rest of work is devoted to the practical issues that are necessary to accomplish the initial objectives.

The practical part is divided into two main stages: On the one hand, the photographic capture and data processing. And, on the other hand, the development of the application of Augmented Reality.

Most of the pictures are aerial ones, taken from a Remotely Piloted Aircraft (RPA). In addition, some photographs taken from ground were also used.

The digital model of the Monastery was generated with the software *Pis4D Mapper Pro*, which is based on *Structure From Motion (SfM)* algorithms, while the application for mobile devices of Augmented Reality was created using the software of videogames creation *Unity 3D*.

Finally, results were analyzed and a report on the advantages and disadvantages of the used procedure in this kind of projects.

Key Words: 3D model, Structure from Motion (SfM), RPAS, drone, Augmented Reality





Índice de figuras y tablas

TABLAS

Parte I: Memoria

Tabla 1. Especificaciones técnicas aeronave Inspire 1.	46
Tabla 2. Especificaciones técnicas cámara.....	47
Tabla 3. Características técnicas del terminal Iphone 6.....	49
Tabla 4. Tareas realizadas en cada ordenador.....	51
Tabla 5. Software para procesamiento de imágenes.	64
Tabla 6. Definición de parámetros extrínsecos.....	67
Tabla 7. Configuración de la nube de puntos.	70
Tabla 8. Configuración de la malla de textura 3D.....	71
Tabla 9. Puntos generados en el ajuste en bloque.	83
Tabla 10. Librerías para RA.....	85
Tabla 11. Productos finales.....	99
Tabla 12. Costes y presupuesto del proyecto.	105

Parte II: Anexos

Tabla 13. Distribución de las horas.....	5
Tabla 14. Costes.....	6
Tabla 15. Presupuesto.....	6
Tabla 16. Mano de obra.....	7
Tabla 17. Estimación de salario.....	8
Tabla 18. Gastos de material.....	9
Tabla 19. Gastos generales.....	10
Tabla 20. Material auxiliar.....	10
Tabla 21. Licencia de programas.....	11
Tabla 22. Tiempos de trabajo en campo.....	40
Tabla 23. Tiempos de trabajo de gabinete.....	40
Tabla 24. Planificación temporal.....	41

FIGURAS¹

Ilustración 1. Diagrama de operación VLOS. (Manuel Oñate en http://www.aerpas.es).....	12
Ilustración 2. Diagrama de operación E-VLOS. (Manuel Oñate en http://www.aerpas.es).....	13
Ilustración 3. Diagrama de operación B-VLOS. (Manuel Oñate en http://www.aerpas.es).....	13
Ilustración 4. RPAS multirrotor octocóptero SPREADING WINGS S1000 DE DJI. (https://www.dji.com/es).....	14
Ilustración 5. Ejemplo de dron de ala fija Trimble UX5 HP. (http://uas.trimble.com/).....	14
Ilustración 6. Continuo de Virtualidad. (Milgram y Kishino, 1994).....	19
Ilustración 7. Interfaz AR Wikitude. (http://www.wikitude.com/).....	21
Ilustración 8. Logo oficial de RA. (http://www.augmentedreality.org/).....	22
Ilustración 9. Componentes para crear Realidad Aumentada. (Fuente propia con imágenes de https://unity3d.com/es y https://www.vuforia.com/).....	24

¹ Todas las ilustraciones en las que no se ha aparece la fuente pertenecen al autor del proyecto.



Ilustración 10. Formas de crear RA. (Imágenes de https://www.google.es/imghp).....	26
Ilustración 11. Comunidad Valenciana dentro de la Unión Europea. (Infraestructura de Datos Espaciales de España disponible en http://www.idee.es/).	29
Ilustración 12. Comarca de La Safor dentro de la Comunidad Valenciana. (Infraestructura de Datos Espaciales de España disponible en http://www.idee.es/).	30
Ilustración 13. Situación y emplazamiento del Monasterio de La Valldigna. (Infraestructura de Datos Espaciales de España disponible en http://www.idee.es/)	31
Ilustración 14. Croquis del Monasterio. (http://www.fundaciojaumeeljust.es/).....	36
Ilustración 15. Croquis Portal Nou con Capilla de la Virgen de Gracia y la almazara. (http://www.fundaciojaumeeljust.es/)	37
Ilustración 16. Fuente de los Tritones y Portal Nou.	37
Ilustración 17. Iglesia de Santa María de la Valldigna. (Imagen propia y plano de http://www.fundaciojaumeeljust.es/).....	38
Ilustración 18. Claustro del Silencio junto al locutorio, la iglesia y el refectorio (Imagen propia y plano de http://www.fundaciojaumeeljust.es/)	39
Ilustración 19. Palacio de la Abad. (Imagen propia y plano de http://www.fundaciojaumeeljust.es/)	40
Ilustración 20. Obra nueva.	40
Ilustración 21. Vista aérea del monasterio.....	41
Ilustración 22. Inspire 1 de DJI en la zona de despegue.....	45
Ilustración 23. Fotografía de tres vistas con medidas del Inspire 1 de DJI. (Manual Inspire 1, 2014) ..	46
Ilustración 24. Mandos de control remoto del Inspire 1. (https://www.dji.es)	48
Ilustración 25 Logo de DroneDeploy y DJI Go. (DroneDeploy y DJI)	49
Ilustración 26. Logo de Pix4D. (https://pix4d.com/).....	50
Ilustración 27. Logo MeshLab (http://www.meshlab.net/).....	50
Ilustración 28. Logo de Unity 3D y Vuforia. (https://unity3d.com/es y https://www.vuforia.com/).....	51
Ilustración 29. Superposición entre vuelos. (Pix4D, 2012).....	53
Ilustración 30. Interfaz de DroneDeploy. (Captura de pantalla de DroneDeploy)	55
Ilustración 31. Zona de despegue del Inspire 1. (Infraestructura de Datos Espaciales de España disponible en http://www.idee.es/)	58
Ilustración 32. Despegue del Inspire en campo.	59
Ilustración 33. DroneDeploy mientras se realiza un vuelo. (Captura de pantalla de DroneDeploy)	60
Ilustración 34. DJI Go mientras se realiza un vuelo manual. (Captura de pantalla de DJI Go)	61
Ilustración 35. Zonas de toma de imágenes terrestres. (Infraestructura de Datos Espaciales de España disponible en http://www.idee.es/).	62
Ilustración 36. Inputs y outputs del proyecto. (Ruiz, 2013)	65
Ilustración 37. Parámetros Intrínsecos. Fuente: (Ruiz, 2013)	66
Ilustración 38. Creación de nuevo proyecto e introducción de imágenes a Pix4D. (Captura de Pix4D)	68
Ilustración 39. Opciones de Procesamiento de la nube de puntos. (Captura de Pix4D)	69
Ilustración 40. Opciones de procesamiento de la malla 3D con textura. (Captura de Pix4D).....	70
Ilustración 41. Resumen del ajuste en bloque en Pix4D.(Propia con imágenes de www.google.es). ...	72
Ilustración 42. Posición de cámaras y haces de rayos en Pix4D. (Captura de pantalla de PIX4D)	73
Ilustración 43. Nube de puntos sin haces de cámaras. (Captura de pantalla de PIX4D)	74
Ilustración 44. Densificación de puntos en FA. (Captura de pantalla de PIX4D).....	75
Ilustración 45. Herramientas de eliminación de puntos en Pix4D. (Captura de pantalla de PIX4D).....	75
Ilustración 46. Comparación entre el modelo antes y después del eliminado de outlets. (Captura de pantalla de PIX4D)	76
Ilustración 47. Ejemplo de zonas sin datos dentro de la nube densificada. (Captura de pantalla de PIX4D)	77
Ilustración 48. Imagen .jpg de textura.....	79
Ilustración 49. Mallas con texturas de la FT y de la FA. (Captura de pantalla de PIX4D).....	79
Ilustración 50. Importación de las mallas a Meshlab. (Captura de MeshLab)	80
Ilustración 51. Puntos para alinear.	80
Ilustración 52. Resultado del fusionado final. (Captura de MeshLab)	81
Ilustración 53. Escalar modelo 3D. (Captura de pantalla de MeshLab).....	82
Ilustración 54. Interfaz de desarrollo de Unity (Captura de Unity 3D)	88



Ilustración 55. Obtención de licencia de Vuforia (https://developer.vuforia.com/)	90
Ilustración 56. Clave de licencia para la app. (https://developer.vuforia.com/).....	90
Ilustración 57. Añadir una Database para el proyecto. (https://developer.vuforia.com/).....	91
Ilustración 58. Image Target.	91
Ilustración 59. Obtención del marcador. (https://developer.vuforia.com/)	92
Ilustración 60. Importación de Vuforia a Unity 3. (Captura de pantalla de Unity 3D).....	92
Ilustración 61. Unity 3D con el monasterio importado. (Captura de pantalla de Unity 3D)	93
Ilustración 62. Importación de la textura. (Captura de pantalla de Unity 3D)	94
Ilustración 63. Clave de licencia en AR Camera. (Captura de pantalla de Unity 3D)	95
Ilustración 64. Modelo 3D con Image Target. (Captura de pantalla de Unity 3D).....	95
Ilustración 65. Configuración de la jerarquía de la escena. (Captura de pantalla de Unity 3D).....	96
Ilustración 66. Configuración de dispositivo móvil. (Captura de smartphone Android).....	97
Ilustración 67. Configuración depuración USB (Captura de smartphone Android).	98
Ilustración 68. Resultado final.....	98
Ilustración 69. Importación de modelos a Sketchfab (Captura de web de Sketchfab).....	100
Ilustración 70. Visualización del monasterio en Sketchfab. (Captura de pantalla de Sketchfab)	101





Índice de siglas y acrónimos

UA - Unmanned Aircraft

UAV - Unmanned Aerial Vehicle

UAS – Unmanned Aircraft System

RPA – Remotely Piloted Aircraft

RPAS – Remotely Piloted Aircraft System

AENA – Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea

SENASA – Servicios y Estudios para la Navegación Aérea y la Seguridad Aeronáutica

VLOS – Visual Line Of Sight operations

E-VLOS – Extended Visual Line Of Sight operations

B-VLOS – Beyond Visual Line Of Sight operations

RA – Realidad Aumentada

SDK – Software Development Kit

JDK – Java Development Kit

ETRS89 – European Terrestrial Reference System 1989

GSD – Ground Sample Distance

SfM – Structure From Motion





Índice

Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	v
Abstract.....	vii
Índice de figuras y tablas.....	ix
Índice de siglas y acrónimos.....	xiii

Parte I: Memoria

Capítulo 1. Introducción y objetivos.....	1
1.1 Introducción y justificación.....	3
1.2 Motivación del proyecto.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Estructura del proyecto.....	5
Capítulo 2. Marco Teórico I: los drones.....	9
2.1 ¿Qué es un dron?.....	11
2.2 Tipos de Operaciones.....	12
2.3 Sistema completo.....	14
2.4 Normativa.....	15
Capítulo 3. Marco Teórico II: Realidad Aumentada.....	17
3.1 Concepto.....	19
3.2 Reseña histórica.....	20
3.3 Funcionamiento de RA.....	24
3.4 Clasificación.....	25
3.5 Tipos de marcadores.....	26
Capítulo 4. Descripción del Monasterio de Santa María de la Valldigna.....	27
4.1 Situación y emplazamiento.....	29
4.2 Reseña histórica.....	32
4.3 Arquitectura.....	36
4.4 Situación actual.....	41
Capítulo 5. Desarrollo práctico del proyecto.....	43
5.1 Material empleado.....	45
5.2 Recomendaciones a priori.....	52
5.3 Fotogrametría aérea.....	55
5.4 Fotogrametría terrestre.....	61
5.5 Procesamiento de las imágenes.....	63
5.6 Realidad Aumentada.....	84
5.7 Productos generados.....	99
Capítulo 6. Valoración económica y conclusiones.....	104
6.1 Valoración económica.....	105
6.2 Conclusiones respecto a la metodología.....	106
6.3 Conclusiones respecto a los resultados.....	107
Bibliografía.....	110



Parte II: Anexos

A. Valoración económica.....	3
B. Planos.....	12
C. Folleto Publicidad.....	30
D. Contenido del CD.....	34
E. Tiempos de trabajo.....	38
F. Informe Pix4D.....	42



Parte I: MEMORIA





1

Introducción y objetivos

El siguiente proyecto corresponde al Trabajo Fin de Grado de Diana Alonso, estudiante de Ingeniería en Geomática y Topografía de la Escuela Universitaria de Vitoria-Gasteiz de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Ha sido dirigido por los profesores Álvaro Rodríguez y José Manuel Valle junto con Jaime Guillot, director ejecutivo de la compañía DroneSpain, con sede en Valencia.





1.1 Introducción y justificación

El presente proyecto nace de la necesidad, por parte de la Fundació Jaume II el Just, de querer publicitar el Monasterio de Santa María de la Valldigna de manera profesional, para atraer mayor número de turistas a sus instalaciones.

El trabajo se encuentra enmarcado en un convenio de colaboración entre la empresa DroneSpain, la Escuela Universitaria del País Vasco UPV/EHU y la Fundació Jaume II el Just de la Generalitat Valenciana.

Desde hace varios años, se ha comprobado la necesidad de documentar el patrimonio que nos rodea. Recientemente, está tomando mayor importancia la representación 3D de los elementos patrimoniales, para su mejor visualización y difusión.

Partiendo de esta idea, la Fundació Jaime II el Just contactó con la empresa DroneSpain para conseguir el Modelado 3D del Monasterio de Santa María Real de la Valldigna, ubicado en la provincia de Valencia. Para mejorar el proceso de propagación de la información, se propuso a la fundación la idea de utilizar una aplicación de Realidad Aumentada.

De ahí, que el título elegido para este proyecto sea: “Modelización 3D y visualización mediante Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Valldigna (Valencia)”.

El Monasterio es un ejemplo de la expansión y la importancia de la Orden del Císter en el Antiguo Reino de Valencia. Siendo un símbolo del patrimonio cultural e histórico.

Es escasa la información que se tiene del recinto y, a lo largo de su historia, no se explica cómo un monasterio tan importante fue borrado de la memoria de los valencianos. Su patrimonio ha sido expoliado y destruido, sufriendo abandono durante casi dos siglos, hasta su recuperación en 1991 por parte de la Generalitat Valenciana.

Mediante este trabajo, se pretende hacer un modelado tridimensional empleando técnicas fotogramétricas para la digitalización del Monasterio y, además, lograr un efecto visual atractivo para que pueda ser empleado con fines divulgativos y de promoción turística.



1.2 Motivación del proyecto

A través de las prácticas realizadas en la empresa DroneSpain se permitió a la alumna Diana Alonso la dirección total de un proyecto real.

Como se ha dicho, la Fundació Jaime II el Just se puso en contacto con la empresa DroneSpain para conseguir el Modelado 3D del Monasterio de Santa María Real de la Valldigna, con el fin de emplearlo para la promoción del monasterio mediante folletos y su página web.

Para mejorar el proceso de propagación, la autora del proyecto propuso a la fundación la idea de utilizar una aplicación de Realidad Aumentada que hiciese más atractiva la difusión del modelo tridimensional.

Las posibilidades para llevar a cabo una modelización 3D eran muy amplias, pero el deseo de realizar este trabajo principalmente consistía en utilizar las posibilidades de los drones para la generación de productos que combinaran con la Realidad Aumentada, dos métodos poco convencionales en la Topografía.

Las prácticas realizadas durante el último período de sus estudios, aportaron todos los conocimientos posibles sobre los Vehículos Aéreos No Tripulados. Por ello y por todo lo aprendido durante los años de formación sobre Fotogrametría, surgió la idea de combinar dichas técnicas para abordar el proyecto.

1.3 Objetivos

La introducción de nuevas tecnologías en el ámbito profesional de la Topografía requiere la actualización continua de conocimientos. Con las nuevas técnicas, se van modificando el instrumental y las metodologías para proporcionar mejoras en la obtención de información espacial.

Aunque la incorporación de los drones es relativamente reciente, está alcanzado un gran desarrollo en el mercado. Cada vez son más las empresas de fotogrametría que recurren a este tipo de vehículos para realizar la cartografía, debido principalmente



al gran ahorro de tiempo que suponen, a la seguridad que ofrecen y a las precisiones que permiten obtener.

El objetivo de este proyecto es múltiple:

- Por un lado, la documentación geométrica exterior del edificio para su posterior divulgación.
- La obtención del modelo tridimensional con la precisión y resolución adecuada para poder introducirlo en la página web de la Fundació Jaime II el Just.
- Y por último, la creación de una aplicación de Realidad Aumentada para potenciar el acceso al producto final.

1.4 Estructura del proyecto

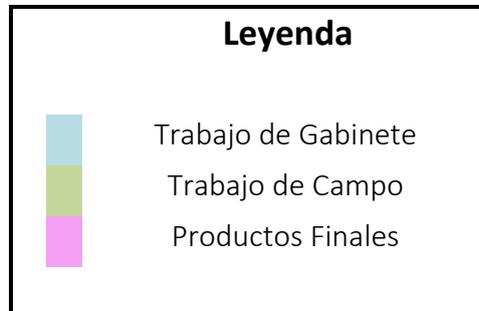
El proyecto se ha dividido en dos partes: *Memoria y Anexos*. La *Parte I: Memoria* se divide en 7 capítulos. A continuación, se muestra un breve resumen de la estructura de este documento:

- En el primer capítulo, *Introducción y Objetivos*, se exponen las motivaciones para la realización del trabajo, y una breve introducción sobre los contenidos a desarrollar.
- En el segundo y tercer capítulo se describen los aspectos teóricos necesarios para poder realizar la parte práctica del proyecto.
- En el cuarto capítulo, *Descripción del Monasterio de Santa María de la Valldigna*, se desarrollan los conocimientos históricos, así como la descripción detallada de la zona de estudio y los elementos arquitectónicos más destacados del Monasterio.
- El quinto capítulo, *Desarrollo Práctico del Proyecto*, describe todo el proceso de trabajo realizado para conseguir los productos finales deseados. Incluye tanto los trabajos realizados en gabinete, como los efectuados en campo.
- En el sexto capítulo, *Valoración económica y conclusiones*, se analizan los productos obtenidas durante todo el proyecto y su valoración económica.
- Por último, se presenta la *Bibliografía*, que incluye todas las referencias que se mencionan a lo largo de las siguientes páginas.

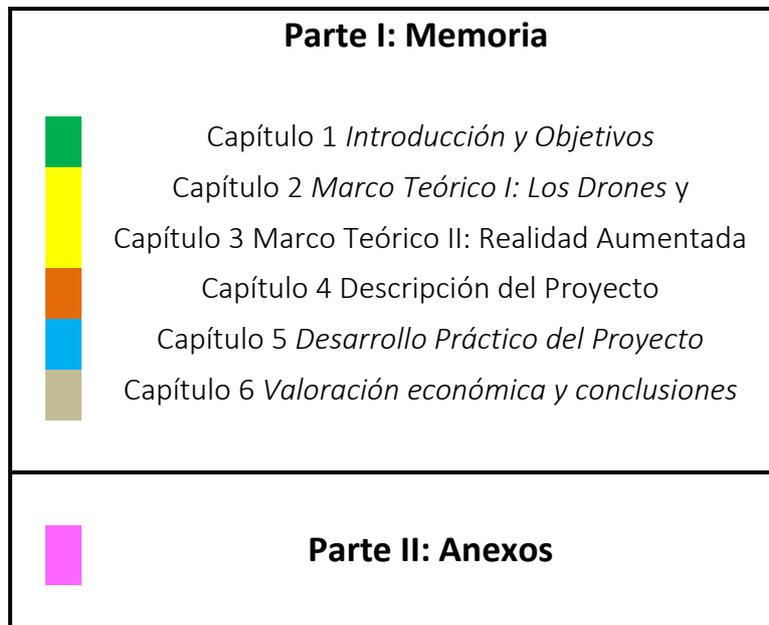


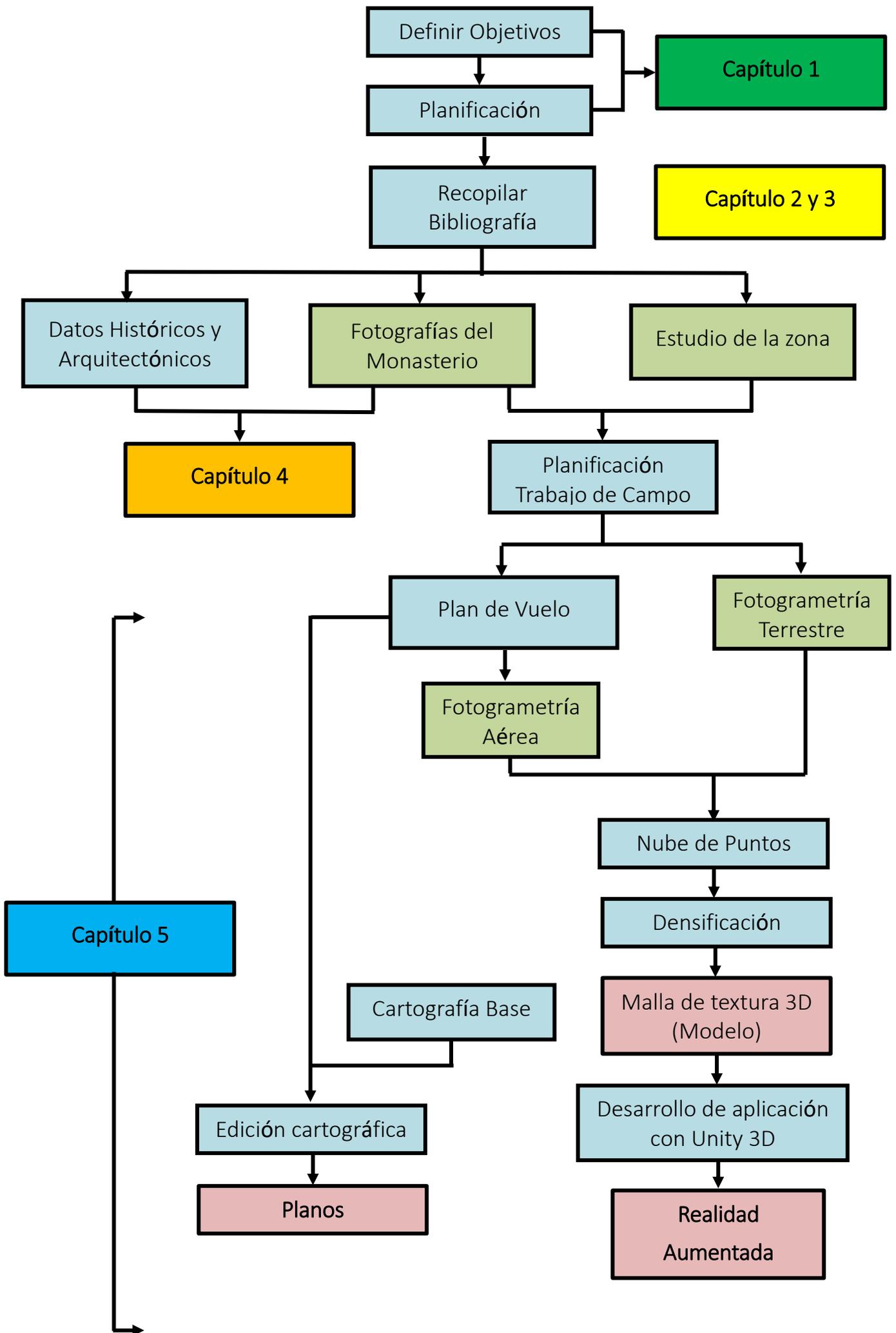
Por otro lado, el documento *Parte II: Anexos* contiene toda la información complementaria.

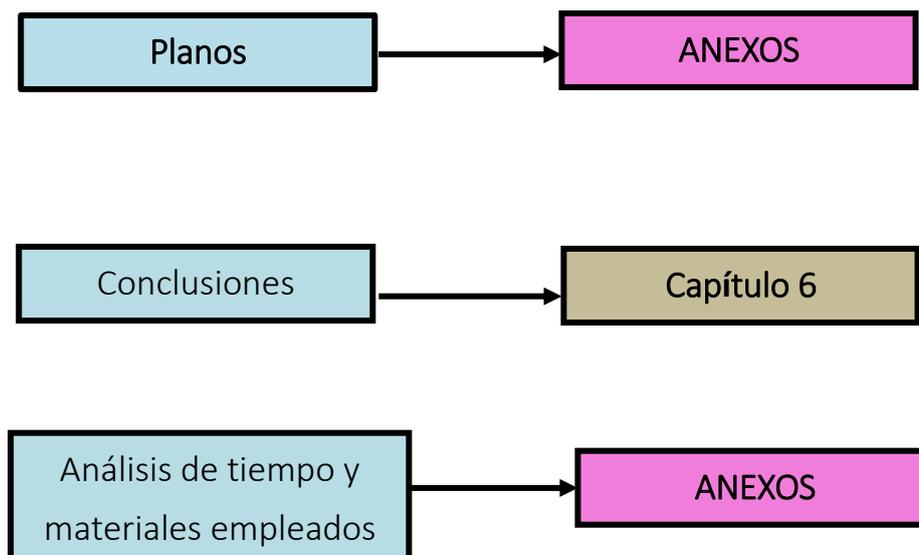
A continuación, se muestra el esquema de trabajo a seguir durante el proyecto.



Cada capítulo aparece con los siguientes nombres y colores:









2

Marco Teórico I: los drones

Antes de comenzar con los desarrollos prácticos, ha sido necesario profundizar en varios temas relacionados con los vehículos aéreos no tripulados, conocidos normalmente como drones.

A pesar de lo mucho que se ha hablado sobre los drones en los medios de comunicación, lo cierto es que existe un gran desconocimiento al respecto de sus posibilidades reales de aplicación a la fotogrametría. Por ello, en el presente capítulo se pretende ver con detalle en qué consiste esta tecnología, qué tipos de operaciones pueden realizar y a qué normativa están sujetos.





2.1 ¿Qué es un dron?

El término genérico empleado para denominar a un dron es Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) en castellano, y en inglés UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). (Gundin , 2016)

La palabra dron tiene su origen en el ámbito militar. En los años 40, los ingleses desarrollaron una aeronave de combate oUCAV (*Unmanned Combat Aerial Vehicle*) denominada “*Killerbee*” (abeja asesina). Manteniendo el juego de palabras, a la siguiente aeronave de espionaje se la denominó “Drone”, que traducido significa zángano. (Addati & Lance, 2014)

El término UAV se encuentra actualmente en desuso, ya que se considera más importante los sistemas completos que las aeronaves en sí. El sistema comprende tanto la aeronave, como el enlace de comunicaciones y las estaciones en tierra. Por ello se inventó el término UAS (*Unmanned Aerial System* o sistema aéreo no tripulado).

Debido a la gran cantidad de nomenclaturas, la OACI (Organización Internacional de Aviación Civil) fundó el UAS Special Group para encargarse de establecer unos nombres más específicos a los drones. (Gundin, 2016)

Genéricamente, se les denomina aeronaves no tripuladas (UA o Unmanned Aircraft). Dentro de este grupo, dependiendo de si existe o no un piloto remoto, serían aeronaves autónomas o aeronaves tripuladas por control remoto (RPA o *Remotely Piloted Aircraft*).

Cuando hablamos del sistema íntegro, los UA se denominan UAS (*Unmanned Aerial System* o sistema aéreo no tripulado) y el RPA se considera RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System* o sistema aéreo tripulado por control remoto).

2.2 Tipos de Operaciones

Actualmente existe un límite de altura de vuelo máximo de 500 pies², a excepción de Emiratos Árabes, donde se puede volar hasta 4500 ft. En España el límite al que se puede realizar vuelos es de 400 ft, es decir, unos 122,4 m. (Oñate, 2014b)

Una primera clasificación del tipo de operaciones puede realizarse en función del peso máximo de despegue. Dependiendo de cuánto pese la aeronave en el momento en que se desprende del suelo podemos distinguir hasta cuatro tipos distintos de drones:

- Menores de 2kg
- Entre 2 y 25 kg
- Entre 25 y 150 kg: Deben inscribirse en el Registro de Matrícula de Aeronaves y tener un certificado de aeronavegabilidad.
- Mayor de 150 kg: En este caso, la regulación está a cargo de la Unión Europea.

La clasificación de las operaciones se realiza según la visibilidad del piloto con respecto a la línea de vuelo: VLOS, E-VLOS y B-VLOS. (Oñate , 2014a; Quintanilla et al., 2015)

- **VLOS** o en línea de vuelo (*Visual Line Of Sight*). Operaciones en un radio menor a 500 m de distancia horizontal y hasta 122m (400ft) de distancia vertical. El piloto controla un espacio, denominado burbuja, que siempre se tiene a la vista.

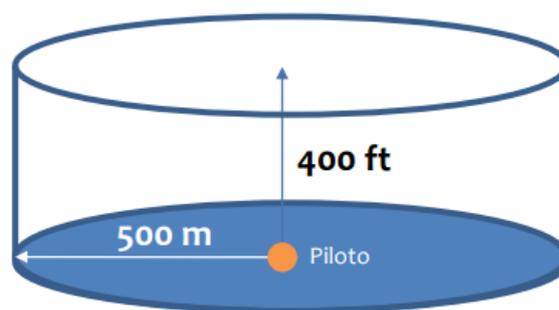


Ilustración 1. Diagrama de operación VLOS. (Manuel Oñate en <http://www.aerpas.es>)

² Pies: su abreviatura es ft [del inglés feet]. Es unidad de medida de longitud basada en el pie humano, que equivale a 29,57cm.

Se tratan de operaciones en las que no debe haber tráfico aéreo, ni riesgos en tierra. Son totalmente seguras.

- **E-VLOS** o línea de vuelo extendida (*Extended Visual Line of Sight*). El piloto cuenta con una serie de observadores que permiten extender el radio de la burbuja. Cada operador no debe estar alejado de otro un radio mayor de 1000m.

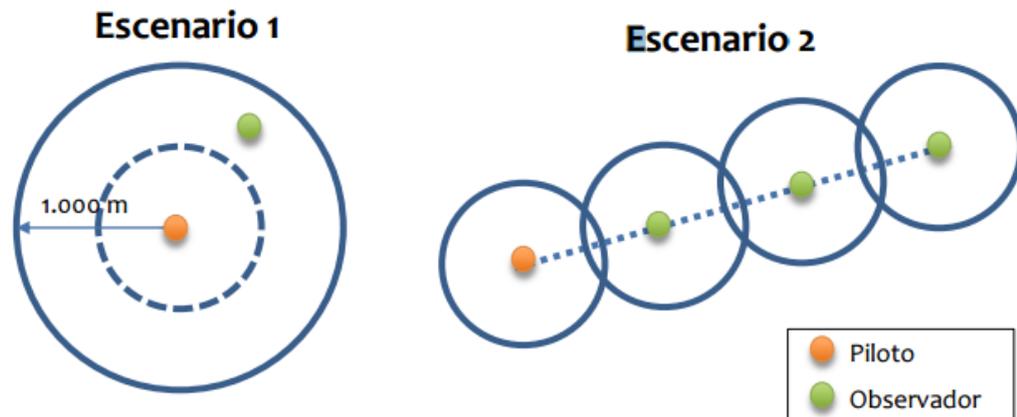


Ilustración 2. Diagrama de operación E-VLOS. (Manuel Oñate en <http://www.aerpas.es>)

- **B-VLOS** o sin contacto con la línea de vuelo. (Beyond Visual Line Of Sight). Se vuela siempre sin que haya otra persona visualizando el aparato y sin contacto visual con la aeronave. Los pilotos requieren de una licencia especial para este tipo de vuelos.



Ilustración 3. Diagrama de operación B-VLOS. (Manuel Oñate en <http://www.aerpas.es>)

Todas las operaciones deben realizarse fuera del espacio aéreo regulado, de zonas pobladas y de concentraciones humanas. Y siempre respetando las distancias mínimas de seguridad a los aeropuertos. (Oñate, 2013)

No se va a entrar a relatar las operaciones realizadas por encima de 500 ft, ni las de despegues mayores de 150 kg, ya que no corresponden a los trabajos que se han realizado.

2.3 Sistema completo

Cuando empleamos el término RPAS, nos referimos al sistema completo, no únicamente a la aeronave. El sistema está formado por tres partes fundamentales: aeronave, estación de control y enlace de comunicaciones. (Oñate, 2014b)

AERONAVE

Existen muchos tipos de aeronaves y, pueden clasificarse de diversas formas. Una de ellas es en función del tipo de alas, encontrándonos básicamente con dos tipos de plataformas: ala fija y ala rotatoria o multirrotores.

- **Multirrotores** (Ilustración 4). Son simples para pilotar y cuentan con una plataforma que los mantiene muy estables. Según la cantidad de motores se clasifican en tricópteros (3 motores), cuadricópteros (4 motores), hexacópteros (6 motores) y octocópteros (8 motores).



Ilustración 4. RPAS multirrotor octocóptero SPREADING WINGS S1000 DE DJI. (<https://www.dji.com/es>)

Cuanto mayor sea el número de hélices, mayor será la estabilidad y la seguridad. Y si además el número de motores es mayor, tendremos más propulsión y consumo. Sin embargo, hay que tener en cuenta la autonomía. Los drones multirrotor tienen una autonomía de media de unos 15 minutos de vuelo. (Fernández Lozano et al., 2015)

- **Ala fija** (Ilustración 5). Eliminan la principal desventaja de los multirrotor, la autonomía. Pueden permanecer varias horas en el aire, y es la herramienta perfecta para trabajos de grandes extensiones. Debido a las alas fijas, tiene también gran estabilidad y una plataforma muy segura.



Ilustración 5. Ejemplo de dron de ala fija Trimble UX5 HP. (<http://uas.trimble.com/>)

Su problema principal se da a la hora del aterrizaje y despegue. Requiere mínimo de una extensión plana de 60 metros y sin obstáculos. (Fernández Lozano et al., 2015)



La elección de la aeronave a emplear debe realizarse en función del trabajo a realizar, teniendo en cuenta la zona en la que se va a volar, las características del elemento a cartografiar, la geometría del terreno, los costes, etc.

ESTACIÓN DE CONTROL

El piloto no se encuentra físicamente dentro de la aeronave, pero necesita controlarla de alguna forma. Este medio puede ser una *tablet*, un teléfono móvil, una representación de cabina o un mando ad hoc³.

ENLACE DE COMUNICACIONES

Como el piloto y la aeronave no se encuentran juntos, debe existir un medio de comunicación que transmita las órdenes del piloto a la aeronave, y los datos tomados por el dron, de nuevo al piloto. Normalmente, en los RPAS se emiten ondas de radio para transmitir la información entre la aeronave y la estación de control. El medio de comunicación debe ser un sistema fiable y seguro que cumpla los estándares establecidos.

2.4 Normativa

Un RPAS es una aeronave, y por lo tanto se reglamenta según la normativa aeronáutica vigente. Hasta hace muy poco tiempo, no existía en España ninguna ley reguladora para el vuelo de estos.

El 4 de julio de 2014, el Consejo de Ministros aprobó el Real Decreto-ley 8/2014⁴, de 4 de julio, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia. Esta normativa se tramitó como ley el viernes 17 de octubre de 2014, con la publicación en el BOE de la Ley 18/2014, de 15 de octubre. (Ministerio de Fomento, 2016; Quintanilla et al., 2015)

De manera resumida, los principales factores a tener en cuenta a la hora de volar son:

³ Mando ad hoc: mando especializado para pilotar drones.

⁴ http://www.seguridadaerea.gob.es/media/4243006/rdl_8_2014_4julio.pdf



- Límite de altura de vuelo máximo en España de 400 pies, es decir, unos 122,4m.
- Las operaciones deben ser del tipo VLOS o en línea de vuelo, que como se ha explicado significa que se deben realizar en un radio menor a 500 m de distancia horizontal donde el piloto controla un espacio, denominado burbuja, que siempre se tiene a la vista. También están permitidos los vuelos B-VLOS mediante cuando se realice la comunicación y segregación del espacio aéreo.
- No se permite el vuelo en zonas urbanas; lugares con aglomeraciones de personas; ni cerca de aeropuertos, aeródromos o centrales nucleares.
- No es posible volar de noche, ni con meteorología que impida el control total de la aeronave en todo momento.

Por otro lado, todos los UAS deben cumplir lo siguiente: llevar fijada una placa de identificación para identificar la aeronave, el nombre de la empresa operadora y los datos para contactar con ella. (Quintanilla et al., 2015)

Además, todos los pilotos de drones deberán acreditar que son titulares de licencia de piloto o demostrar que se disponen de conocimientos necesarios como para obtenerla cuando existan fines comerciales o de investigación.



3

Marco Teórico II: Realidad Aumentada

En el siguiente apartado se va a tratar de aclarar todos los conceptos sobre la Realidad Aumentada (en adelante RA) que han sido necesarios para construir una aplicación acorde a las necesidades del Monasterio de Santa María de la Valldigna.



3.1 Concepto

La RA es el término que se emplea para definir una visión a través de un dispositivo tecnológico (un teléfono móvil, por ejemplo) de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta en tiempo real. (Torres, 2013)

Se trata de una tecnología reciente que, mediante un conjunto de dispositivos, añade una parte virtual a lo real. Para su uso es necesario un aparato capaz de captar el entorno que nos rodea y, mediante un software informático, implementar los elementos virtuales.

Los elementos virtuales pueden encontrarse tanto en 2D como en 3D, con mayor complejidad computacional.

No existe una definición única de RA, Paul Milgram y Fumio Kishino la definen mediante el concepto de *Virtuality Continuum* o Continuo de Virtualidad. Consiste en una escala continua entre aquello que es completamente virtual (Entorno Virtual) y lo que es completamente real (Entorno Real). (Milgram & Kishino, 1994)



Ilustración 6. Continuo de Virtualidad. (Milgram y Kishino, 1994)

Como se indica en la figura anterior, en función de la cantidad de entorno generado por ordenador, se establece una clasificación que va desde un entorno completamente real a uno completamente virtual, pasando por los estados intermedios de Realidad Aumentada (RA) y Virtualidad Aumentada (VA).

A continuación, se definen cada uno de los entornos que integran el continuo de virtualidad:

- Entorno real. Un entorno se suele considerar real cuando no existe ningún enlace con el mundo virtual.



- Realidad Aumentada (RA). Se trata de un mundo real al que se le superponen una serie de elementos virtuales.
- Virtualidad Aumentada (VA). La virtualidad aumentada materializa un mundo virtual mediante texturas, sonidos, imágenes estáticas y dinámicas, y demás recursos del mundo real.

De esta manera, así como en entornos de RA el espacio es predominantemente real, en entornos de VA el espacio es mayoritariamente virtual con algunas representaciones del mundo real.

- Entorno virtual. Aquel en el que no existe ningún enlace con el mundo real. Dentro de este se debe distinguir entre dos tipos. Por un lado, un entorno real simulado, como un paisaje o un edificio. Y por otro, un entorno ficticio simulado.

Otra definición más sencilla es la dada por Ronald Azuma (Azuma, 1997), en la que define la RA como:

- Combinación de elementos reales y virtuales
- Que Interactúan en tiempo real
- Registran todo en 3D

3.2 Reseña histórica

Hasta hace pocos años, la RA se trataba de una tecnología muy costosa que necesitaba de una gran inversión. Sin embargo, a día de hoy está al alcance de cualquier persona que posea un dispositivo móvil de última generación.

A continuación, se presenta los principales hitos a tener en cuenta a lo largo de la historia. (Basogain et al. , 2010; Molina, 2012; Caro Martinez & Hernando Hernández, 2015)

1962. Morton Heilig, director de fotografía, construye un prototipo denominado Sensorama que logra aumentar la experiencia cinematográfica a través de los sentidos.

1968. Ivan Sutherland y su alumno Bob Sproull crean el primer visor para Realidad Virtual y Realidad Aumentada, el HMD⁵ o Display de Cabeza.

1972. Myron Krueger creó en 1972 un sistema que permitía la interacción con objetos. Este aparato no incluía sistemas informáticos, sino sistemas de reconocimiento de objetos y gestos.

1992. Tom Caudell introduce el término Realidad Aumentada para describir una pantalla que emplearían los electricistas de la empresa Boeing. Mezclaba gráficos virtuales con la realidad.

1999. Hirozaku Kato crea ARToolkit, uno de los mejores softwares libres para la creación de aplicaciones en realidad aumentada.

2000. Se desarrolla el primer juego al aire libre para dispositivos móviles de Realidad Aumentada, el denominado ARQuake.

2008. Sale a la venta AR Wikitude Guía, para el teléfono Android G1.



Ilustración 7. Interfaz AR Wikitude. (<http://www.wikitude.com/>)

2009. La realidad aumentada llega al navegador Web debido a que ARToolkit es portado a Adobe Flash.

⁵ HDM: Head Mounted Display

2009. Se crea el logo oficial de la Realidad Aumentada con el fin de estandarizar la identificación de la tecnología aplicada en cualquier soporte o medio por parte del público general. Cualquiera puede descargarlo de la página oficial⁶ de forma gratuita.



Ilustración 8. Logo oficial de RA. (<http://www.augmentedreality.org/>)

2012. Google crea las Google Glass, las primeras gafas que introducen la realidad aumentada comercializada.

2013. Sony comercializa The Playroom para PS4. A través de una cámara, se introducen en la PS4 juegos con RA para jugar en casa.

2013. Niantic⁷ en colaboración con *Google* saca Ingress, el primer juego de RA para teléfonos móviles.

2014. Se desarrolla una tecnología de RA para interactuar con juguetes físicos.

2016. Se lanza el juego Pokémon Go para dispositivos móviles Android e IOS que alcanza el mayor éxito hasta ahora en este ámbito.

De manera resumida, se puede observar la progresión de la RA en el esquema de la página siguiente.

⁶ <http://www.augmentedreality.org/>

⁷ Niantic: compañía de desarrollo de software estadounidense con sede en San Francisco, conocida por el desarrollo y la publicación de juegos móviles de realidad aumentada como Pokémon o Ingress.

Morton Heilig,
construye el
Sensorama



Myron Krueger
crea un dispositivo
para interactuar
con objetos

Nace ARToolkit



La RA llega al
navegador web y
se crea el logo
oficial

Sony comercializa *The Playroom*
para PS4



1962

1968

1972

1992

1999

2000

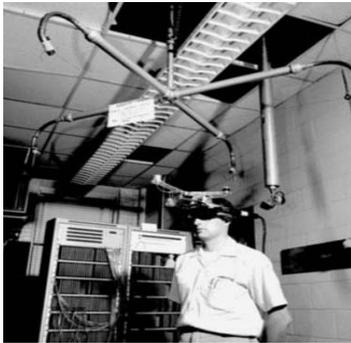
2009

2012

2013

2016

Ivan Sutherland y
Bob Sproull crean
el HMD o Display
de Cabeza.



Primer juego al aire libre de RA,
ARQuake

Google crea
Google Glass



Nace la revolución
Pokémon Go



Se introduce el
término de
Realidad
Aumentada

3.3 Funcionamiento de RA

Para que pueda funcionar una aplicación de RA, se requieren los siguientes elementos (Ilustración 9):

- Dispositivo que de soporte a la RA (*tablet* o *smartphone*) compuesto por:
 - Monitor o pantalla donde se proyecte la imagen virtual sobre la real
 - Cámara que capture la información del mundo real y la trasmita al software de RA
 - Procesador para las imágenes captadas
 - Otros: GPS, sensores ópticos...
- Elementos virtuales que se combinen con el mundo real. Pueden estar almacenados en el dispositivo de soporte o disponibles en línea.
- Administrador: Software que combine los datos reales con los elementos de RA y los muestre en la pantalla del dispositivo de soporte.

Con todos estos elementos, el dispositivo es capaz de crear el tracking o el reconocimiento, es decir, el proceso de seguimiento de objetos por parte del dispositivo. Mediante el tracking, el dispositivo conoce en todo momento las coordenadas y la orientación del objeto. (Caro Martínez & Hernando Hernández, 2015)



Ilustración 9. Componentes para crear Realidad Aumentada. (Fuente propia con imágenes de <https://unity3d.com/es> y <https://www.vuforia.com/>)



3.4 Clasificación

Existen múltiples clasificaciones para los distintos tipos de RA, pero en este proyecto se ha decidido distinguir entre diferentes tipos de RA en función del "tracking". (Milgram & Kishino, 1994; ITAINNOVA, 2014)

- **Realidad Aumentada basada en la geolocalización.** Estas aplicaciones emplean el hardware (GPS, brújulas, giroscopios... etc.) de los *smartphone/tablet* para localizar y superponer una capa de información sobre puntos de interés del entorno.
- **Realidad Aumentada basada en marcadores o *targets*.** Estos marcadores, que también se les suele denominar *targets* son interpretados por un software, y dependiendo del tipo de marcador ofrecerán una respuesta u otra. Dentro de este tipo, podemos encontrar distintos tipos de marcadores. (Ver sección 3.5).
- **Realidad Aumentada basada en el reconocimiento híbrido.** Mezcla el uso de marcadores con sensores o dispositivos físicos.

El *tracking* hace referencia a lo que en fotogrametría se denomina "orientación externa". Se puede ver que esta clasificación es similar a la que se presenta en los trabajos fotogramétricos aéreos cuando se indica que la orientación puede hacerse directamente con los equipos de navegación del avión (GPS+INU), mediante puntos de apoyo o combinando ambos.

3.5 Tipos de marcadores

Podemos encontrar cuatro tipos de marcadores con los que crear realidad aumentada:

CÓDIGOS QR

Módulos con cuadros blancos y negros para almacenar información



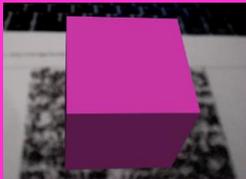
IMÁGENES

Cualquier imagen que se pueda realizar con una cámara, pero con bordes o patrones fácilmente reconocibles



OBJETOS SIMPLES

Identificación cubos, cajas o cilindros para mostrar la RA



OBJETOS COMPLEJOS

Reconocimiento de objetos cotidianos, aunque necesita de procesos mucho más complejos



Ilustración 10. Formas de crear RA. (Imágenes de <https://www.google.es/imghp>)



4

Descripción del Monasterio de Santa María de la Valldigna

Para la realización del trabajo práctico, ha sido necesario desarrollar un estudio paralelo sobre la historia del Monasterio de Santa María de la Valldigna. La principal finalidad de este capítulo es conocer el lugar de trabajo y las zonas más importantes del monasterio.

A continuación, se relatan las características principales relacionadas con este lugar.



4.1 Situación y emplazamiento

El monasterio se encuentra en la localidad de Simat de La Valldigna, dentro de la provincia de Valencia en España (Ilustración 11).

Simat, es uno de los cuatro pueblos que constituyen el valle de La Valldigna dentro de la comarca conocida como La Safor (Ilustración 12), a unos 55km al sur de Valencia y a 20km al norte de Gandía.



Ilustración 11. Comunidad Valenciana dentro de la Unión Europea. (Infraestructura de Datos Espaciales de España disponible en <http://www.idee.es/>).

Comunidad Valenciana

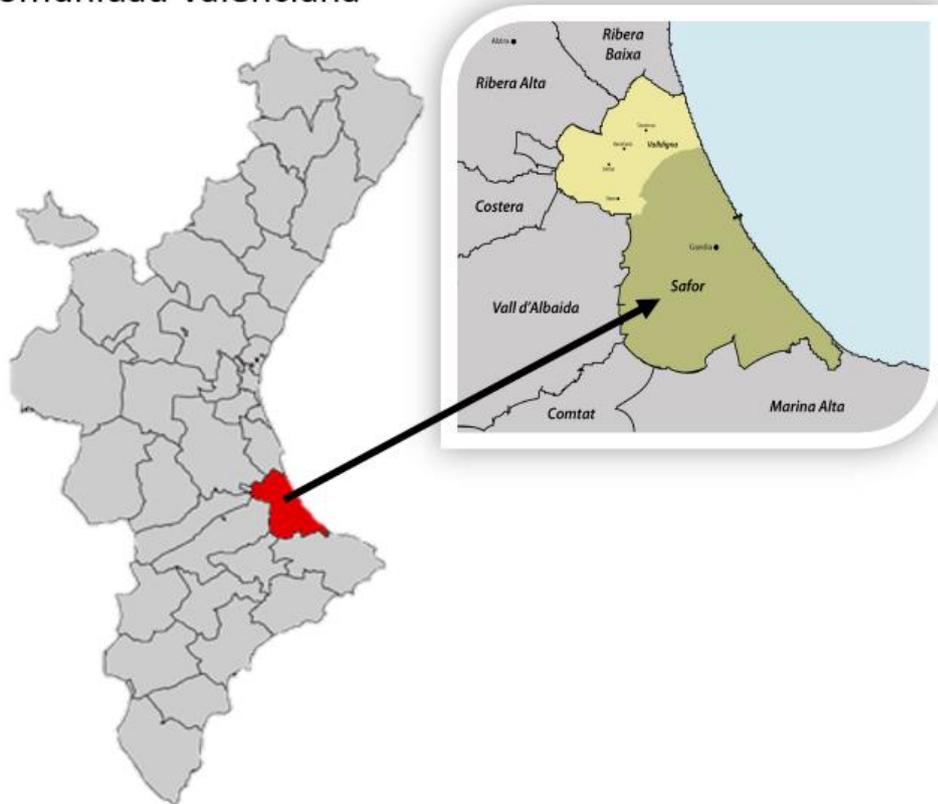


Ilustración 12. Comarca de La Safor dentro de la Comunidad Valenciana. (Infraestructura de Datos Espaciales de España disponible en <http://www.idee.es/>).

El valle (Ilustración 13) constituye una depresión transversal de 8 km de longitud y 4 km de anchura abierta a la costa del mar Mediterráneo, limitada al norte por la Serra de Aguelles y al sur por el Toro y el Mondúver. También se encuentra surcada por el río Vaca.

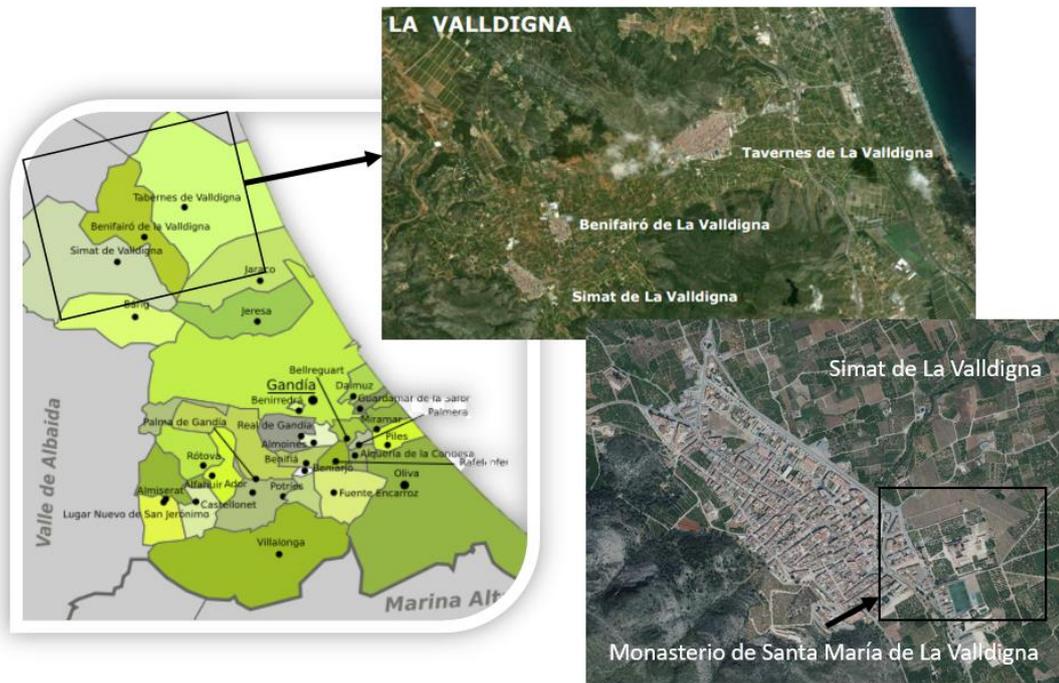


Ilustración 13. Situación y emplazamiento del Monasterio de La Valldigna. (Infraestructura de Datos Espaciales de España disponible en <http://www.idee.es/>)

Se ha creado un plano denominado “Situación y Emplazamiento” para una mejor localización de la zona de estudio, que se puede encontrar en el Anexo B de la Parte II: Anexos.



4.2 Reseña histórica

La morfología de los edificios y restos del conjunto del Monasterio de Santa María Real de la Valldigna han ido evolucionando a lo largo de los siglos. Las dinámicas de cambio vienen condicionadas por su uso en cada momento. Respecto a esto, podemos citar tres etapas. (Marín Rubio, 2011; Diez Arnal, 2012; Vercger Plana, 2013)

- **Etapas como monasterio:** desde su nacimiento en el siglo XIII, es considerado como un monasterio de gran relevancia hasta la desamortización de Mendizábal a mediados del siglo XIX.
- **Etapas de abandono:** época de declive, donde tiene lugar la exclaustación. Es abandonado por los monjes y vendido a particulares, donde se convierte en una explotación agropecuaria. Su duración es desde la desamortización hasta que lo adquiere la Generalitat Valenciana en 1991.
- **Etapas de recuperación:** período de restauración y recuperación tras ser adquirido por la Generalitat Valenciana y convertido en un recurso cultural y turístico.

ETAPA COMO MONASTERIO

El valle ha sido lugar de establecimientos humanos desde la prehistoria, encontrándose asentamientos paleolíticos en la zona. Sin embargo, hay una falta de estudios que no permite conocer hasta qué punto se desarrollaron los pueblos romanos e íberos.

En la época islámica, se define a este territorio como Alfàndec de Marinyén. Comprendía una serie de asentamientos repartidos en pequeñas alquerías⁸ fortificadas. Dichos asentamientos, se encontraban protegidos normalmente por una estructura defensiva propia, con torres fortificadas en algunos casos. Sin embargo, la mayor protección la ofrecían los castillos de la zona.

⁸ Alquería (del árabe pueblo o caserío): pequeñas comunidades rurales que se situaban en las inmediaciones de las ciudades.



Administrativamente, el valle estaba dividido en dos: La Foya Alta, con la población de Simat, Xara, Benifairó y Alfurell; y la Foya Baixa, con Tavernes, L'Ombria, el Rafòl y Alcudiola.

Los musulmanes habitaron el valle durante cinco siglos, viviendo de la agricultura y la ganadería de manera autosuficiente gracias a la riqueza y la fertilidad del terreno.

En 1244, Jaime I de Aragón llevó a cabo la repoblación cristiana y la instauración del régimen feudal. Esta implantación apenas afectó a la vida de los musulmanes, que continuaron viviendo en sus alquerías distribuidas en el valle. (Bérchez, 1983; García García, 1983)

No fue hasta finales del siglo XIII, cuando los monjes cistercienses de Santes Creus fundaron el monasterio y se encargaron de que los musulmanes comenzaran a perder los privilegios.

El 15 de marzo de 1298 el Rey Jaime II el Justo, concedió al abad de la abadía cisterciense de Santes Creus (Tarragona) fray Bononat de Vilaseca el valle de Alfàndec, que desde ese momento pasó a denominarse valle de la Valldigna. (Vercger Plana, 2013)

Una leyenda acompaña a su construcción. (Diez Arnal, 2012) Se dice que cuando el Rey volvía de sus batallas contra los musulmanes, al pasar por el valle, quedó impresionado por su belleza y fertilidad. En ese momento, dirigiéndose a su capellán Fray Boronat pronunció:

“Vall digna per a un Monestir de la vostra religió” (Valle digno para un monasterio de vuestra religión)

A lo que el capellán respondió:

“Senyor, Vall digna” (Señor, valle digno)

A través de esta historia, los lugareños explican el cambio de nombre del valle.

Como bien se ha dicho, Jaime II otorgó al abad la máxima autoridad sobre todo el territorio y sus habitantes. Así, el monarca logró establecer un control efectivo en tierras pobladas por mudéjares y consolidar la frontera cristiana.



A partir de entonces, se trasladaron a Valldigna doce monjes de Santes Creus con el abad fray Ramon de Saint Climent a la cabeza.

La orden cisterciense se trató de una fundación monacal muy poderosa, cuyo dominio señorial se prolongó durante seis siglos.

En 1811, las Cortes de Cádiz derogaron los derechos jurisdiccionales, y el monasterio empezó a carecer de privilegios.

Durante la guerra de Independencia, se empleó como hospital, y fue asaltado por los franceses en 1812 hasta que lo recuperó de nuevo la Iglesia en 1814. (Marín Rubio, 2011)

ETAPA DE ABANDONO

La arquitectura del Monasterio fue símbolo de su poder hasta el año 1835, cuando tuvo lugar la excomunión de la comunidad y la desamortización de Mendizábal. A partir de entonces, comienza el abandono y destrucción del lugar. Los monjes abandonaron el valle, y el monasterio fue vendido a particulares.

Tras la desamortización, comienza la peor época para la estructura. Sus dueños emplearon los terrenos circundantes a las instalaciones para la producción de naranjos, viñas y frutales. Además, se empleó la iglesia como almacén, y el resto de construcciones como corrales para el ganado. (Marín Rubio, 2011)

En 1970 se le declara monumento histórico-artístico, pero los dueños actuales prohibieron la visita a éste de cualquier turista, historiador o vecino de la zona.

Se llegó incluso a la destrucción de las dependencias mediante maquinaria pesada y dinamita.

En 1987, comienza la expropiación forzosa para la adquisición del monasterio, pero no es hasta 1991 cuando se realiza la compra.



ETAPA DE RECUPERACIÓN

En 1991, la Generalitat Valenciana adquiere el monasterio, y comienzan los proyectos de conservación y recuperación.

Se firma un plan de acción en 1992 para intentar devolver al monasterio todo su esplendor. Se realizan varias obras de emergencia y la restauración de las fachadas, pinturas, bóvedas y jardines. (Diez Arnal, 2012)

En 2006, se incluye en el Estatuto de Autonomía Valenciano un artículo donde destaca la labor e importancia del Monasterio de la Valldigna como referente cultural e histórico de Valencia.

Durante los últimos años, se han hecho grandes trabajos de recuperación. El principal objetivo actual es el de la recuperación, potenciación y divulgación del patrimonio arquitectónico hasta llegar a convertir el monasterio en un gran símbolo de la cultura valenciana. (Generalitat Valenciana, 2017)

4.3 Arquitectura

Desde su creación, como se ha ido ilustrando, el monasterio fue un lugar de poder y culto en el Reino de Valencia. (Diez Arnal, 2012)

Hay tres etapas muy diferenciadas respecto a su construcción: la implantación gótica en el siglo XIV donde se creó el claustro y las edificaciones; la renovación en el año 1396 tras sufrir las consecuencias de un terremoto; y por último la segunda renovación en 1644 tras otro terremoto.

A continuación, se van a describir las principales dependencias que forman el monasterio. En la siguiente imagen (Ilustración 14) se muestra un croquis aproximado del plano del monasterio con el nombre de los lugares que se ha creído conveniente destacar.

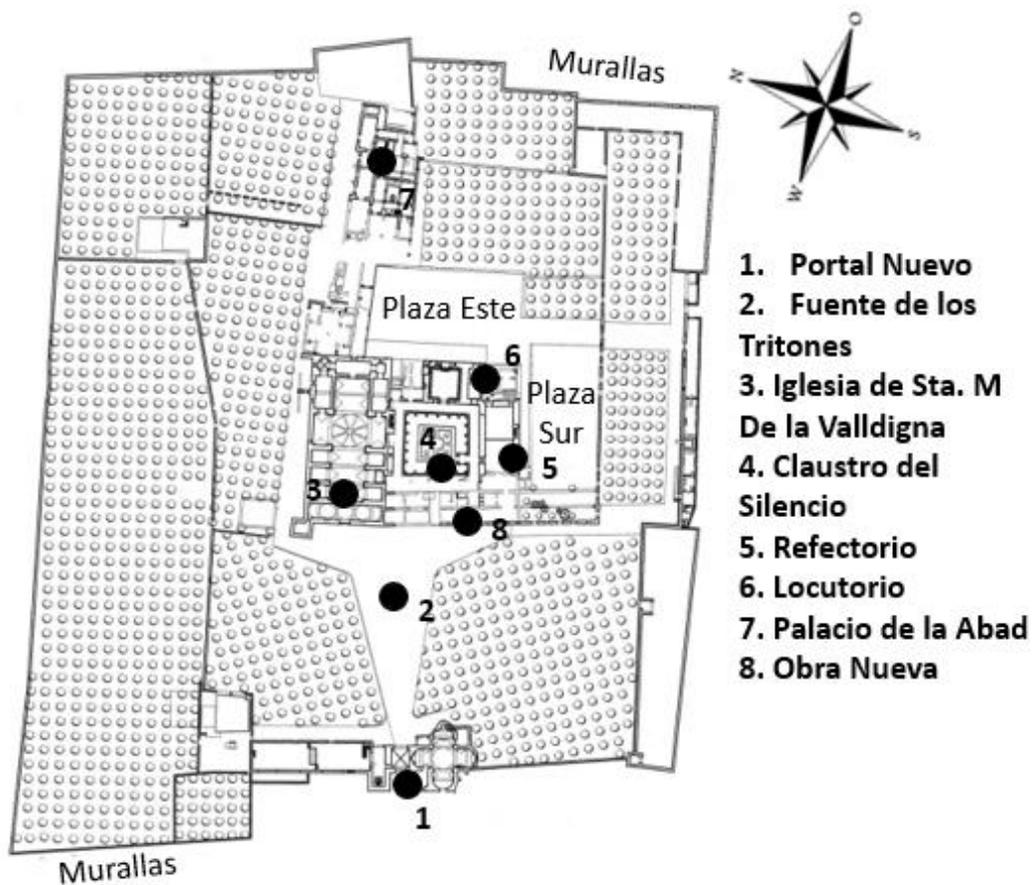


Ilustración 14. Croquis del Monasterio. (<http://www.fundaciojaumeeljust.es/>)

Todo el conjunto está rodeado por dos murallas construidas en el siglo XIV, la exterior y la de clausura.

Solo podemos acceder al recinto mediante el Portal Nuevo o el Portal Nou (1) (Ilustración 15). A la derecha de éste, se encuentra la Capilla de la Virgen de Gracia y a la izquierda la almazara o Almàssera (siglo XVIII). Este último edificio servía para alojar el molino de aceite, el granero y las caballerizas. Recientemente se ha instaurado una cubierta y se ha habilitado para convertirlo en una sala multiusos. (Generalitat Valenciana, 2017)

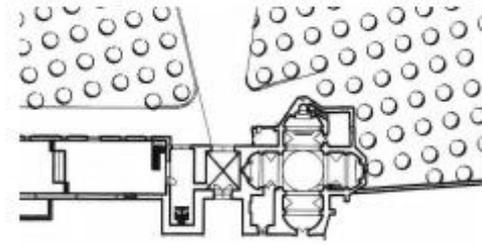


Ilustración 15. Croquis Portal Nou con Capilla de la Virgen de Gracia y la almazara.
(<http://www.fundaciojaumeeljust.es/>)

Pasado el portal, se puede visualizar un camino de naranjos (Ilustración 16), donde destaca entre ellos la Fuente de los Tritones (Siglo XVIII). Esta fuente es originaria del Monasterio, pero ha estado durante décadas en los jardines de Viveros de Valencia.



Ilustración 16. Fuente de los Tritones y Portal Nou.

Más adelante, se encuentra la Iglesia de Santa María de la Valldigna (Siglo XVII). Esta Iglesia (Ilustración 17) ha perdurado hasta la actualidad, pero existieron varios templos anteriores destruidos por los terremotos.

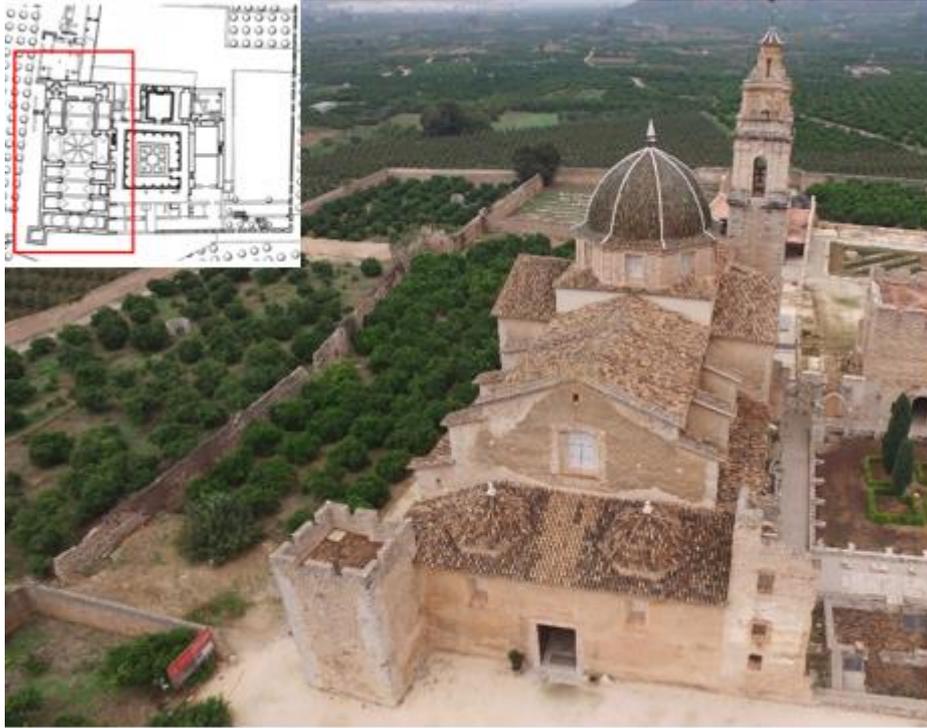


Ilustración 17. Iglesia de Santa María de la Valldigna. (Imagen propia y plano de <http://www.fundaciojaumeeljust.es/>)

A la derecha de la Iglesia, se ve el Claustro del Silencio (Siglo XIV y XV) y junto a éste el refectorio o comedor de los monjes, que llegó a utilizarse como iglesia durante la construcción del templo actual. En 2008 se llevó a cabo su rehabilitación, y ahora es empleado para actividades culturales y exposiciones. (Generalitat Valenciana, 2017)

También podemos encontrar en esta zona el locutorio, lugar destinado a la conversación de los monjes y unión entre el claustro del silencio y la Plaza Este. (Ilustración 18).

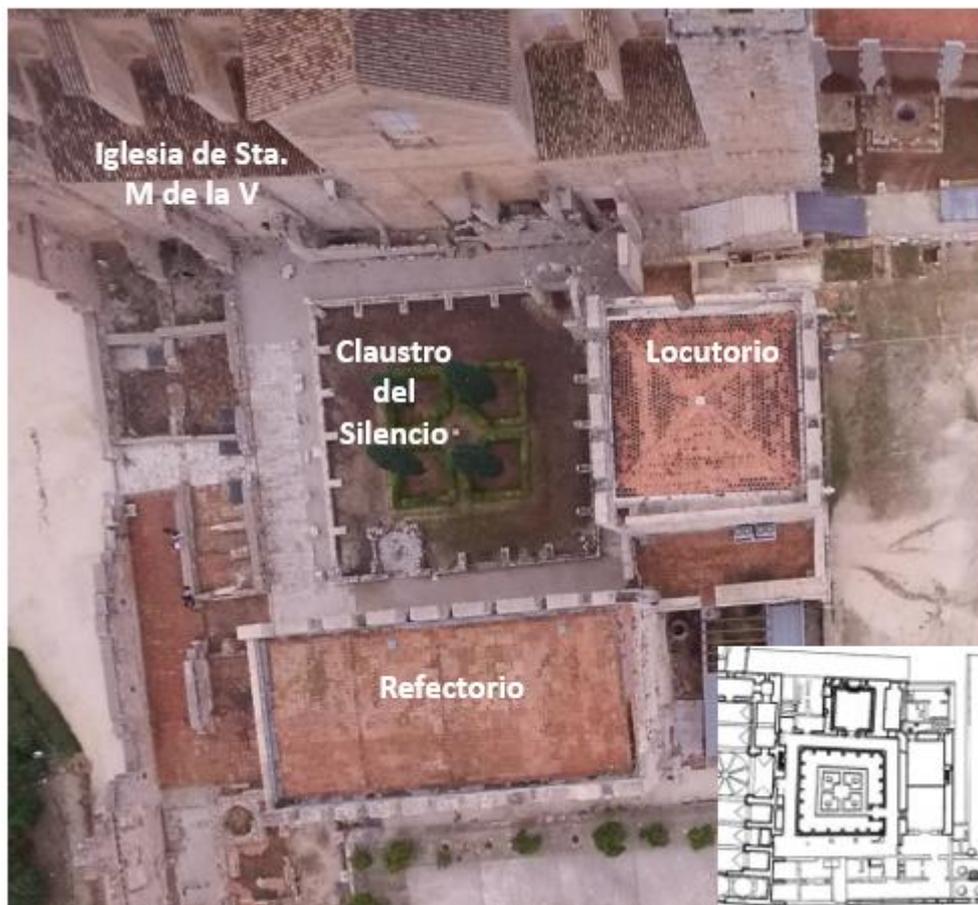


Ilustración 18. Claustro del Silencio junto al locutorio, la iglesia y el refectorio (Imagen propia y plano de <http://www.fundaciojaumeeljust.es/>)

Al atravesar el locutorio y la Plaza Este, se puede visualizar el Palacio del Abad (Ilustración 19). Fue construido en el Siglo XIV, destinado para las salas abaciales y la recepción de visitas ilustres.

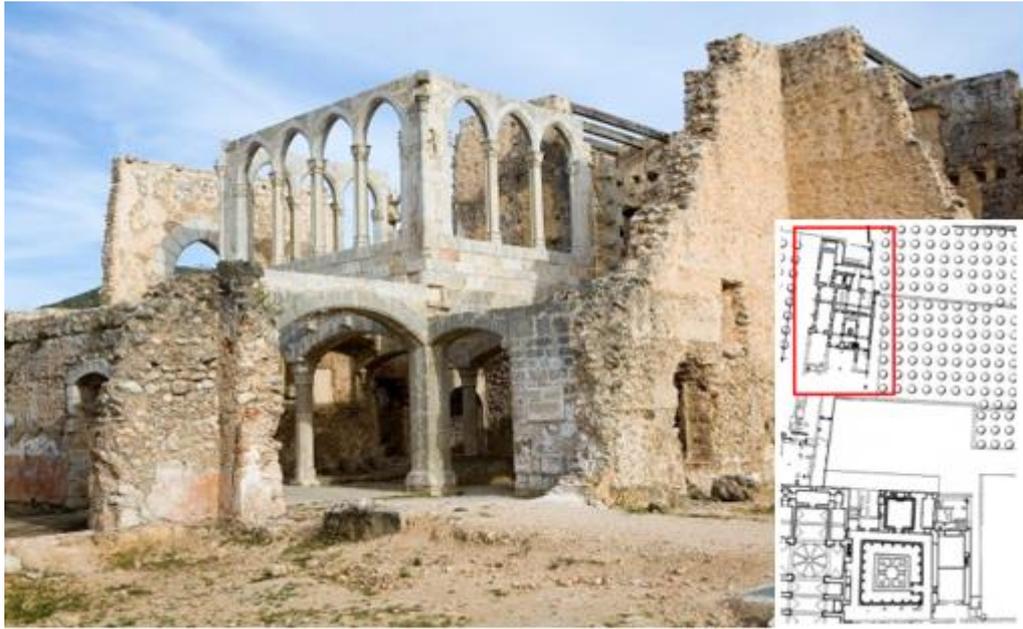


Ilustración 19. Palacio de la Abad. (Imagen propia y plano de <http://www.fundaciojaumeeljust.es/>)

Durante el siglo XVIII, también se realizó la Obra Nueva (Ilustración 20). Este edificio de grandes proporciones contenía el refectorio de los legos, dormitorios y la bodega del monasterio. Contaba con cuatro pisos de altura, pero actualmente solo se encuentra parte de la muralla aspillerada del Siglo XIV.



Ilustración 20. Obra nueva.

4.4 Situación actual

En 1999, la Generalitat Valenciana junto con el Gobierno Valenciano crean la *Fundación Jaume II el Just* para llevar a cabo la gestión del monasterio.

Dicha fundación, como explica en su página web⁹, es la encargada de todas las actuaciones de recuperación, potenciación, puesta en uso y divulgación del patrimonio histórico valenciano, y en particular de aquellas relacionadas con el Monasterio de Santa María de la Valldigna. (Generalitat Valenciana, 2017)

Actualmente, dentro del recinto, se imparten talleres, conciertos, se realizan exposiciones, se proyecta cine para conocer cómo era antiguamente el monasterio e incluso se ofrecen talleres de arqueología para niños. Y todo ello, acompañado de las visitas guiadas.



Ilustración 21. Vista aérea del monasterio.

⁹ <http://www.fundaciojaumeeljjust.es/>





5

Desarrollo práctico del proyecto

Una vez analizado el terreno y estudiados los conocimientos teóricos necesarios para abarcar el proyecto, se pretende conseguir el modelo tridimensional mediante fotogrametría aérea y terrestre, y una aplicación de Realidad Aumentada para visualizarlo.

La fotogrametría es el conjunto de técnicas y procesos basados en diferentes tecnologías que tienen por objeto la obtención de información métrica y la representación del mundo real a partir de imágenes. (Lazaridou & Patmios, 2012). Para el caso concreto de este proyecto, cuando se hable de fotogrametría aérea, se hace referencia a la toma de imágenes mediante drones; y cuando se hable de fotogrametría terrestre, a las imágenes tomadas desde el terreno.



5.1 Material empleado

El material utilizado puede dividirse entre material instrumental, software y hardware.

5.1.1 Material Instrumental

Inspire 1 + Control Remoto + Ipad Air 2

Para la obtención de las imágenes aéreas se ha empleado el modelo de RPAS Inspire 1 (Ilustración 22) fabricado por la empresa china DJI. Se trata de un cuadricóptero de peso ligero menor de 3kg con una cámara intercambiable (Ver Tabla 1). Sus patas se despliegan en el aire para no incomodar a la cámara. Se controla mediante un único mando por control remoto, pero permite la opción de ir acompañado de otro para el control de la cámara.



Ilustración 22. Inspire 1 de DJI en la zona de despegue.

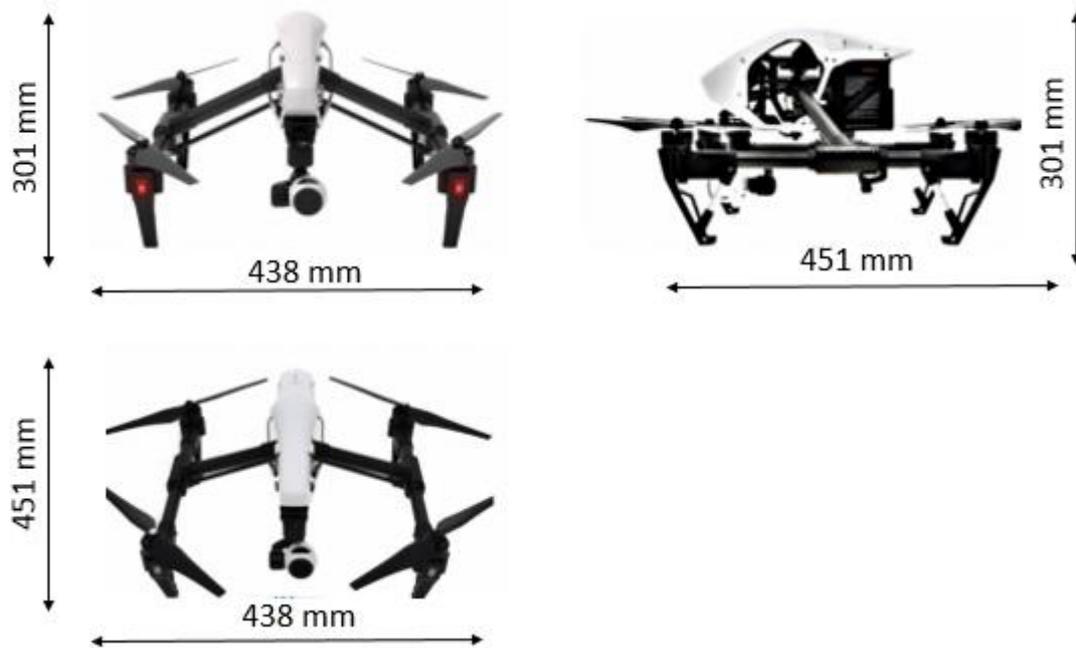


Ilustración 23. Fotografía de tres vistas con medidas del Inspire 1 de DJI. (Manual Inspire 1, 2014)

La cámara fotográfica destaca por su reducido peso y tamaño. Sus principales características son el campo de visión alto y la calidad de obtención de las imágenes.

Las especificaciones técnicas del dron y de la de la cámara se presentan a continuación (Tabla 1 y Tabla 2).

Tabla 1. Especificaciones técnicas aeronave Inspire 1.

Peso (Con batería y Hélices)	2,935 kg
Tamaño diagonal	559 a 581 mm
Velocidad Máxima de Ascenso	5 m/s
Velocidad Máxima de Descenso	4 m/s
Velocidad Máxima	22m/s
Máxima altura sobre el nivel del mar	5000 m
Temperatura Operativa	0°C a 40°C
Modo GNSS	GPS/GLONASS



Tabla 2. Especificaciones técnicas cámara

Sensor	Sony EXMOR ½,3” Effective pixels: 12.4 M
Lente	FOV 94° 20 mm , f/2,8, enfoque al ∞
Velocidad de Obturador	8 s - 1/8000 s
Tamaño máximo de imagen	4000 x 3000
Modos de Fotografía	Foto Única Ráfaga 3/5/7 disparos HDR 3/5 disparos Time-Lapse
Tipo de SD	Micro SD (Máximo 64 GB)
Formatos de Archivo	Foto: JPEG, DNG Vídeo: MP4, MOV
Temperatura Operativa	0°C a 40°C

Como se ha dicho, permite el uso de dos mandos, uno para el control remoto de la aeronave y otro opcional para el manejo de la cámara. Así, puede haber un operador que se encargue exclusivamente del vuelo y otro para las imágenes que tome la cámara. Los mandos de control (Ilustración 24) son dispositivos de comunicación inalámbrica que integran un sistema de enlace de vídeo a tierra. Funcionan con una frecuencia de operación de 2,4 GHz con una distancia de transmisión máxima de 2km. Junto a uno de ellos, se ha acoplado un Ipad Air 2 para poder visualizar en todo momento lo que el RPAS ve.



Ilustración 24. Mandos de control remoto del Inspire 1. (<https://www.dji.es>)

Según las especificaciones técnicas, el dron ofrece muchísimas posibilidades, como por ejemplo volar hasta 5 km de altura. Sin embargo, hay que tener en cuenta la normativa existente respecto a estos aparatos relatada en el capítulo 2.

iPhone 6

Existe una zona del monasterio (la puerta de entrada) imposible de fotografiar con el dron debido a que la normativa impide volar sobre zonas urbanas. Para disponer también del modelo 3D de esta parte, se realizarán fotos mediante un terminal Iphone 6 y se creará un proyecto de fotogrametría terrestre.

Conociendo que no se trata de una cámara profesional y suponiendo que los resultados obtenidos serán mucho peores que los que se puedan obtener con puntos de apoyo y una cámara réflex, se pretende emplear esta técnica para conocer hasta qué punto la cámara de un *smartphone* permite crear modelos 3D.

Las características técnicas de la cámara del Iphone 6 se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Características técnicas del terminal Iphone 6

Megapíxeles	8
Apertura del diafragma	f2.2
Distancia focal	28 mm
Tamaño del sensor	1/2,3 pulgadas
ISO Máximo	3200
Estabilizador	Digital
Vídeo	Full HD y HD a 240 fps
Otros	Autoflash, autofocus

Durante toda la toma, debe estar activado el GPS del teléfono, para que todas las fotos tomadas informen sobre el posicionamiento.

5.1.2. Software empleados

A continuación, se resume los softwares empleados en el proyecto.

DroneDeploy y DJI Go

Ambas se tratan de aplicaciones web utilizadas para poder realizar vuelos con el RPAS.

DroneDeploy¹⁰ permite crear planes de vuelo en gabinete para llevarlos posteriormente a campo.

DJI Go¹¹ es una aplicación que me permite volar de manera manual con el Inspire 1 visualizando en todo momento dónde se encuentra el RPAS, las imágenes que ha tomado, la velocidad a la que vuela, el estado de batería, etc.



DroneDeploy

Ilustración 25 Logo de DroneDeploy
y DJI Go. (DroneDeploy y DJI)

Pix4D Mapper Pro

Este software¹² ha sido el empleado para la reconstrucción del modelo tridimensional. Es uno de los programas más potentes que hay actualmente en el mercado.

¹⁰ <https://www.dronedeploy.com/>

¹¹ <http://www.dji.com/es/goapp>

¹² <https://pix4d.com/>



Se basa en la búsqueda automática de miles de puntos comunes en las imágenes. Cuanto mayor solapamiento haya entre dos imágenes consecutivas, mejor se podrán calcular los puntos proyectados.

Permite generar ortomosaicos, modelos digitales de superficie (MDS) y nubes de puntos. Y, además, evaluar, modificar, interpretar y mejorar los resultados desde su módulo *rayCloud*.



Ilustración 26. Logo de Pix4D.
(<https://pix4d.com/>)

MeshLab 2016



Ilustración 27. Logo MeshLab (<http://www.meshlab.net/>)

MeshLab¹³ es una herramienta de procesamiento de mallas 3D y un sistema de software muy utilizado en campos de desarrollo 3D y manejo de datos. Es un software de código abierto y gratuito. Está orientado a la gestión y procesamiento de grandes mallas no estructuradas y proporciona un conjunto de herramientas para la edición, limpieza, reparación, inspección, representación y conversión de este tipo de mallas

Unity 3D + Qualcomm Vuforia

Unity 3D¹⁴ es una multiplataforma creada por Unity Technologies muy completa que generalmente se emplea para la generación de juegos y contenidos 3D, inteligencia artificial, creación de interfaces...

¹³ <http://www.meshlab.net/>

¹⁴ <https://unity3d.com/es/>

Permite la incorporación de la librería Qualcomm Vuforia¹⁵. Esta es un kit de Desarrollo Software SDK para realidad aumentada. Es decir, mediante éste kit podemos desarrollar aplicaciones para *smartphones* o *tablets* de RA.

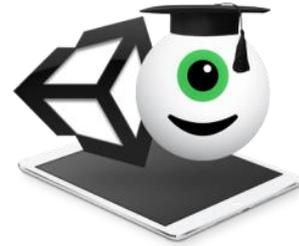


Ilustración 28. Logo de Unity 3D y Vuforia. (<https://unity3d.com/es> y <https://www.vuforia.com/>)

Además, ambos programas son totalmente gratuitos para el usuario.

5.1.3. Hardware

Se han utilizado dos ordenadores para la realización del proyecto, un portátil personal y un PC de mesa. En el portátil personal se han invertido más horas de trabajo, pero para el procesado de datos se ha utilizado el ordenador de la sección de topografía de la empresa DroneSpain, ya que se requiere una gran potencia de cálculo para que el tiempo de procesado sea el menor posible.

Se ha creado un Anexo para visualizar la duración completa de todos los procesos que se han realizado en el trabajo.

Las tareas realizadas se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Tareas realizadas en cada ordenador.

Ordenador	Características	Tareas Realizadas
PC de mesa de DroneSpain	<ul style="list-style-type: none">• CPU Intel Core i7• Memoria RAM 16 GB• Sistema Operativo 64 bits• Disco duro 1TB	<ul style="list-style-type: none">• Procesado de imágenes mediante Pix4D Mapper Pro

¹⁵ <https://www.vuforia.com/>

Ordenador portátil personal	<ul style="list-style-type: none">• CPU Intel Core i5• Memoria RAM 4 GB• Sistema Operativo 64 bits• Disco duro 500GB	<ul style="list-style-type: none">• Redacción de los documentos Parte I: Memoria y Parte II: Anexos• Obtención de aplicación de RA mediante el uso de Unity 3D y Qualcomm Vuforia• Realización de planos mediante AutoCAD Autodesk 2017• Creación de planes de vuelo mediante DJI Go y DroneDeploy
-----------------------------	---	---

5.2 Recomendaciones a priori

En función de los productos que se quieren obtener se han determinado una serie de recomendaciones a tener en cuenta en la planificación del proyecto.

El trabajo se va a realizar mediante un software de procesamiento que emplea métodos SfM (*Structure From Motion*). SfM es una técnica de modelado en 3D, basada en la capacidad de la visión humana para reconstruir estructuras tridimensionales a partir de imágenes 2D proyectadas en la retina gracias al movimiento de esas estructuras respecto al observador o de éste, respecto a dichas estructuras. (Pereira, 2013)

5.2.1 Solape entre imágenes

La obtención del modelado 3D del monasterio se realiza mediante técnicas fotogramétricas convergentes. Un software de procesamiento que emplea la técnica SfM se basa en la búsqueda de forma automática de miles de puntos comunes entre las imágenes. Se trata de un tipo de técnica perteneciente a la fotogrametría convergente que, a diferencia de la fotogrametría estereoscópica, requiere que el objeto a modelar aparezca en un número elevado de fotografías.

Cada punto característico que se encuentra en una imagen se denomina *keypoint* o *tie points*. Cuando 2 *keypoints* se encuentran en 2 o más imágenes diferentes se produce el proceso de correlación entre imágenes denominado *matching*, y se genera un punto 3D. Al existir una gran superposición entre imágenes, la zona común es más grande y por tanto más *keypoints* se pueden combinar entre sí. (Pix4D, 2012)

Cuantas más imágenes existan con *keypoints*, con mayor precisión se calcularán los puntos 3D. Por lo tanto, las reglas principales son mantener un alto solape entre las imágenes, preferiblemente del 100%; y que cada punto aparezca en al menos 2 imágenes, siendo lo ideal en 5 o 6. En este trabajo, se ha decidido emplear como mínimo 3 imágenes en lugar de 2 para que se genere un punto 3D.

5.2.2 Solapamiento entre vuelos

Cuando se trabajan con varios vuelos diferentes, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Debe existir suficiente superposición entre 2 planes de adquisición de imágenes. (Ver Ilustración 29)
- Los diferentes vuelos deben realizarse en las mismas condiciones (dirección del sol, condiciones meteorológicas)

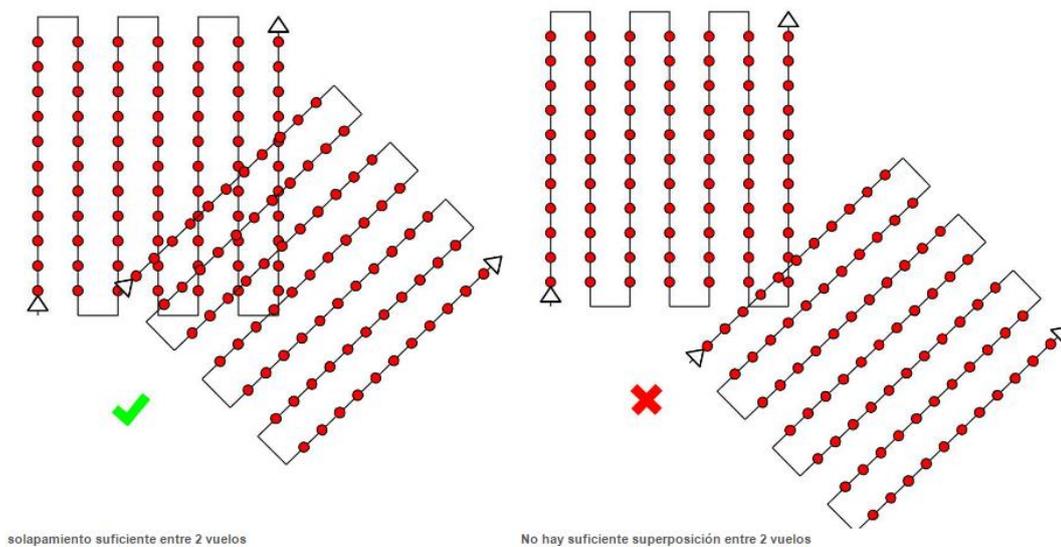


Ilustración 29. Superposición entre vuelos. (Pix4D, 2012)

5.2.3 GSD

Este término denominado en inglés *Ground Sample Distance* o en castellano distancia de muestreo en el terreno, se emplea en la fotogrametría para hacer referencia a la distancia entre el centro de dos píxeles consecutivos.



Cuando se van a procesar imágenes capturadas a distinta altura de vuelo, tenemos distintos GSD. Pix4D Mapper Pro puede procesar imágenes con diferente GSD siempre que el más alto sea menor que dos veces el más bajo GSD.

Ecuación 1

$$GSD1 \leq 2 \cdot GSD2$$

Es decir, para el mismo proyecto, teniendo en cuenta que la altura de vuelo y el GSD tienen una relación lineal, y capturando las imágenes con la misma cámara, se recomienda que la altura de vuelo más alto no exceda dos veces la altura de vuelo más baja. (Pix4D, 2012)

5.2.4 Precisiones del GPS

El GPS a bordo del RPAS trabaja recibiendo correcciones por internet, lo que implica que puede alcanzar precisiones en torno a los ± 3 metros.

En este trabajo las duraciones de los vuelos son bastante reducidas, por lo que se podrán alcanzar precisiones cercanas a 1m ya que la constelación GPS no sufrirá variaciones excesivas durante los tiempos de tiempo.

5.2.5 Condiciones de la zona

Para realizar el vuelo se pretende tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Condiciones atmosféricas.** Se deberá volar teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y en general, no se podrá volar cuando exista niebla, nieve, humo, polvo o zonas inundadas.
- **Iluminación.** Lo ideal es emplear un día nublado para evitar la aparición de sombras en el modelo.
- **Horarios.** Deberá realizarse en horario de 14:00 a 16:00 para evitar la aparición de personas. Estas son las horas donde el monasterio permanece cerrado al público, ya que volar sobre personas es ilegal, y además puede suponer la aparición de deformaciones en el modelo 3D final. A esta hora las zonas de sombras son muchas y los contrastes muy duros, por lo que tendrá especial cuidado en elegir un día con el cielo nublado

5.3. Fotogrametría aérea

5.3.1 Plan de Vuelo

Antes de la salida a campo, es necesario establecer una serie de Planes de Vuelo para tener claros todos los pasos que se van a realizar en el terreno. El diseño de los vuelos se debe hacer en función de la resolución, el tipo de terreno, la ubicación, la extensión a cubrir y las condiciones meteorológicas.

Para establecer los Planes iniciales, se ha empleado la aplicación DroneDeploy, una app web para IOS y Android.

Tiene una versión gratuita que permite crear hasta 5 planes de vuelo y modelos tridimensionales por mes, con una resolución máxima de 5 cm/píxel en su versión *free*. A pesar de la capacidad del software para generar modelos, se ha usado esta versión únicamente para ejecutar los planes de vuelo.

La interfaz de DroneDeploy, como se puede ver en la Ilustración 30, es muy sencilla e intuitiva. Se puede acceder a ella a través de un navegador con conexión a internet creando un usuario y contraseña.

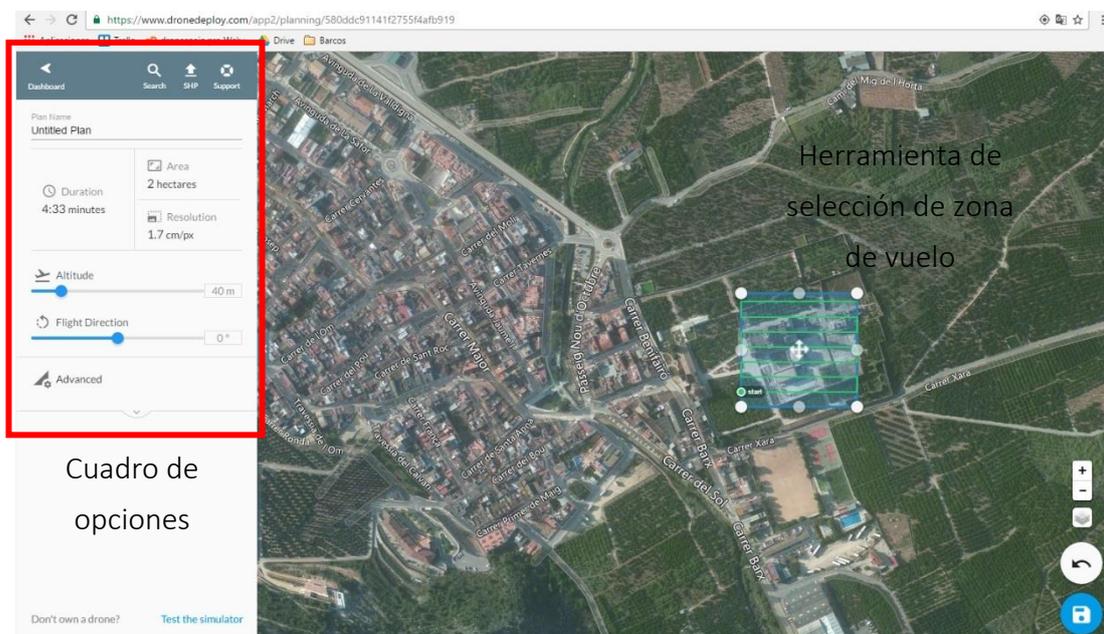


Ilustración 30. Interfaz de DroneDeploy. (Captura de pantalla de DroneDeploy)



Los pasos que se han seguido son:

1. **Selección del mapa base.**
2. **Localización la zona de vuelo.** Se define la región a cartografiar estableciendo *waypoints* que constituyen la ruta. También se debe introducir la altitud, distancia entre tomas, la dirección de vuelo y el punto de partida dónde a través del cuadro de opciones de la izquierda. El punto inicial es irrelevante, ya que por razones de seguridad todos los despegues y aterrizajes son manuales.
3. **Guardar el plan** para poder emplearlo posteriormente en campo.

El programa realiza una estimación de la duración del vuelo y permite ver una simulación similar a la que seguirá el dron en campo.

Analizando las distintas partes del monasterio, se determinó que lo más idóneo era la realización de cuatro vuelos. Esta decisión se tomó teniendo en cuenta las alturas de las distintas dependencias de los monasterios.

Para intentar captar mejor las texturas y los detalles, también se realizaron varios vuelos manuales con la cámara oblicua. Estos no requerían de planificación previa, sino que en campo se decidió qué zonas habían sido menos fotografiadas y se tomaron más imágenes en aquellos puntos.

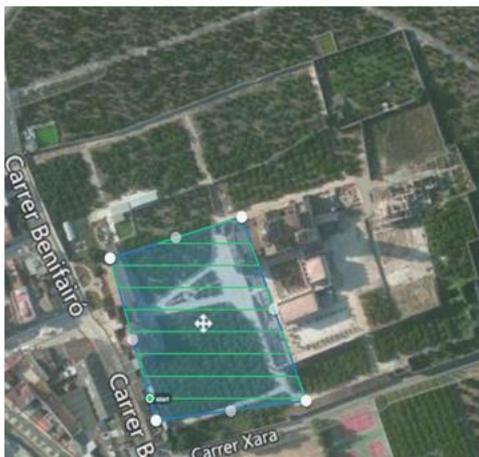
Se han nombrado a los cuatro planes de vuelo: vuelo 1, vuelo 2, vuelo 3 y vuelo 4. Todos a excepción del último se han planeado con una dirección de vuelo de 0 grados sexagesimales, considerando el 0 en la dirección Oeste-Este cómo establece el programa DroneDeploy. Para mayor detalle, se ha creado un plano de cada vuelo en el apartado Anexos con todos los detalles después de haber realizado la toma fotográfica.



Vuelo 1



Vuelo 2



Vuelo 3



Vuelo 4

El vuelo 1, se ha establecido a 65 metros de altura. La elección de esta altura se debe a razones de seguridad, ya que la torre de la Iglesia tiene aproximadamente unos 55 metros en el punto más alto. La extensión a volar es menor que una hectárea por lo que se estima que la duración será de 2:31 minutos.

El vuelo 2 se hará a una altura de 45 m. Abarca aproximadamente una hectárea y durará unos 3:50 minutos. Este vuelo no incluirá la torre de la Iglesia, pero debe realizarse a al menos 45 m debido a las paredes de la zona de la obra nueva.

El vuelo 3 se ha planificado a una altura de 60 metros para alcanzar la parte delantera del monasterio, incluida el Portal Nou. El programa web indica una duración aproximada de 4:01 minutos.

Por último, el vuelo 4 es el de mayor duración y altura. Abarca prácticamente todo el monasterio, a 75 metros. Su duración aproximada será de 5:50 minutos. En este, la dirección de vuelo es de 66 °C, para que la duración del vuelo sea menor.

Todas las duraciones de los vuelos son aproximadas, y variarán más o menos en función del despegue/aterrizaje.

5.3.2 Toma fotográfica

En el monasterio, se instaló el equipo en una zona despejada y centrada. (Ilustración 31). Como se ha indicado, fue necesario realizar todos los trabajos en una hora en la que el monasterio se encontraba libre de visitas, para que no apareciesen detalles erróneos en las imágenes. También, se prefirió emplear un día nublado para evitar la aparición de sombras.

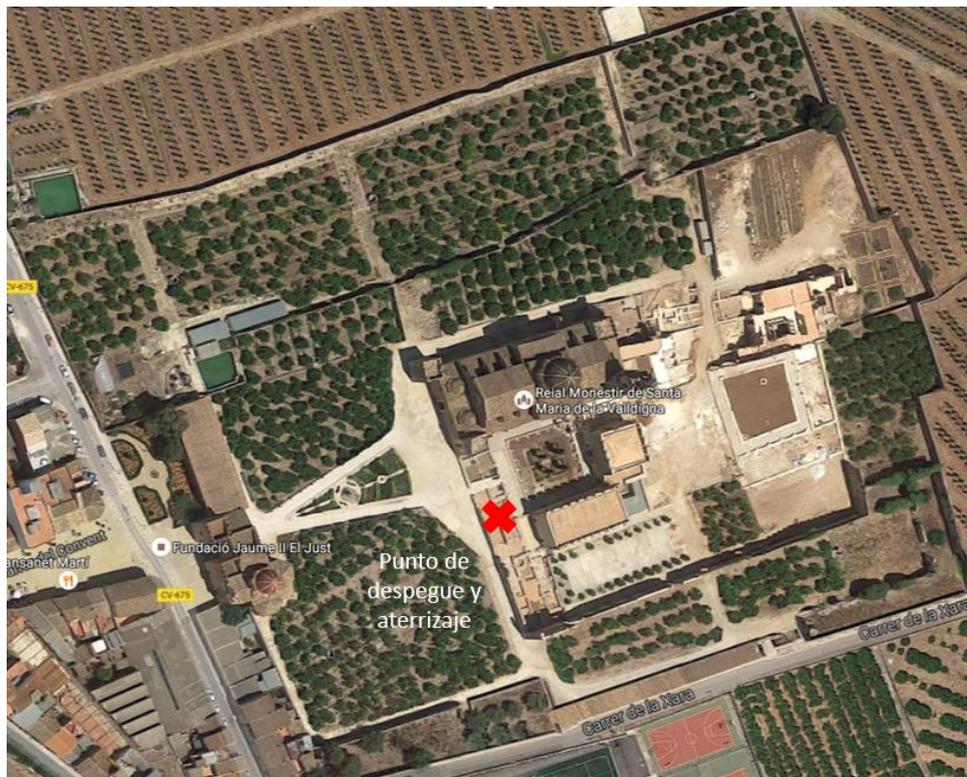


Ilustración 31. Zona de despegue del Inspire 1. (Infraestructura de Datos Espaciales de España disponible en <http://www.idee.es/>)

El trabajo aéreo puede resumirse según los siguientes pasos:

1. Determinación del lugar idóneo para instalar el RPAS.
2. Montaje del Inspire 1 y del monitor con la *tablet*.

3. Prueba de altura para comprobar que los datos establecidos para los vuelos eran los correctos.
4. Realización de los cuatro vuelos planificados mediante la aplicación DroneDeploy. Todos los despegues y aterrizajes se realizaron de manera manual, para evitar cualquier posible problema. (Ilustración 32)



Ilustración 32. Despegue del Inspire en campo.

5. Realización de dos vuelos manuales utilizando la aplicación DJI Go. Mediante la aplicación el piloto realizó la toma de imágenes con la cámara oblicua, para captar las paredes del monasterio y así mejorar el nivel de detalle y la calidad de las texturas.
6. Desmontar el equipo.

El dron se transporta mediante una maleta, en la que también se guardan las baterías, el iPad, los mandos de control remoto, las hélices (que van separadas del instrumento para que no sufran daños) y algunos cables (micro USB para conectar mandos y *tablet* y cargador de los mandos).

El montaje y desmontaje del equipo es una tarea muy sencilla, cuya duración apenas llega a los dos minutos. Se debe situar el Inspire 1 en el suelo, colocarle las hélices hasta que suene un “click” y conectar los mandos con la *tablet*. Y lo mismo para desmontarlo, pero en orden inverso.

Las imágenes se van obteniendo según los *waypoints* programados en gabinete, pudiendo visualizar en tiempo real toda la información a través de la *tablet*. Todas las imágenes quedan almacenadas en la tarjeta micro SD que lleva la cámara, obteniendo un total de 419 imágenes aéreas.

En la Ilustración 33 se muestra una captura de pantalla de la *tablet* en pleno vuelo. Se puede observar arriba a la derecha la última imagen que va tomando el RPAS. En la parte de la izquierda, podemos visualizar el porcentaje de batería, las fotos tomadas, la altura de vuelo establecida, velocidad de vuelo, distancia recorrida en metros y la duración que lleva el trayecto. Además, se va visualizando mediante una línea blanca todo el recorrido, y mediante un icono azul dónde se encuentra el dron.



Ilustración 33. DroneDeploy mientras se realiza un vuelo. (Captura de pantalla de DroneDeploy)

Como se ha indicado, la aplicación DJI Go (Ilustración 34) fue la utilizada para realizar los vuelos manuales. La interfaz de esta aplicación también es bastante intuitiva. En la imagen siguiente, se muestra una captura realizada a posteriori del vuelo. Se puede apreciar que, al ser un vuelo manual, no seguimos una trayectoria basada en líneas rectas siguiendo direcciones como en la imagen anterior. Este programa, permite guardar el plan de vuelo que ha seguido el RPAS. En el apartado Parte II: Anexos, también se encuentran las fichas técnicas de estos 2 vuelos.

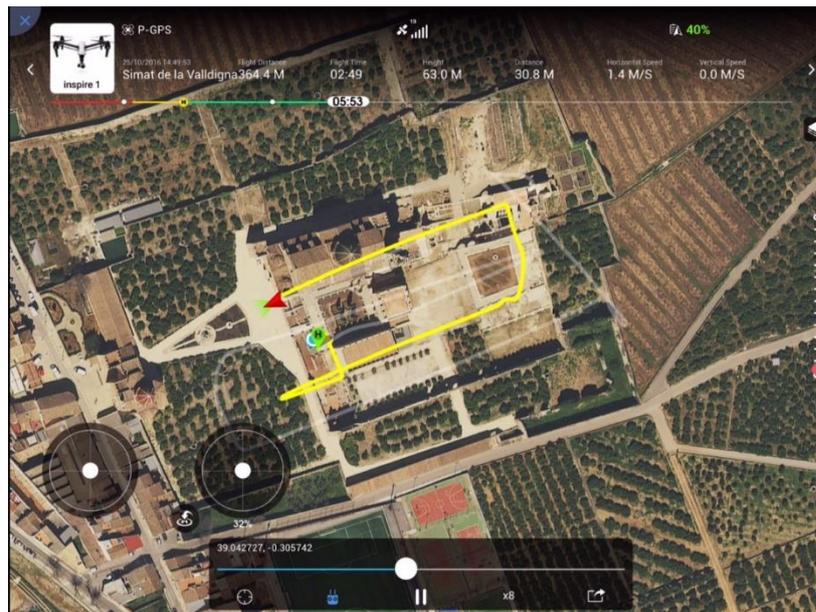


Ilustración 34. DJI Go mientras se realiza un vuelo manual. (Captura de pantalla de DJI Go)

En total, fueron necesarias un total de 4 baterías para la realización de todo el proceso. Aproximadamente, cada batería cuenta con una autonomía de 12 minutos. Cuando la carga de estas se encuentra al 30%, comienza a sonar una melodía de alarma y se encienden luces rojas en el Inspire 1 para alertar al piloto.

La duración total de los trabajos de fotogrametría fue aproximadamente una hora y 10 minutos.

5.4 Fotogrametría terrestre

La toma de fotogrametría terrestre se realizó inmediatamente después de la toma de la fotogrametría aérea. Hay diversas zonas que el dron no podía capturar por razones de seguridad. Para que no se perdiesen las formas de determinados

elementos de la arquitectura del monasterio, se tomaron unas 327 tomas en tierra, de las cuales fueron elegidas 273 fotos.

Las zonas (Ilustración 35) que se fotografiaron desde el suelo fueron, en su mayoría, las de la entrada principal, correspondientes con el *Portal Nou*. Por esta zona el monasterio se comunica con Simat de la Valldigna, por lo tanto, cuenta como urbana y no está permitido volarla con el dron.



Ilustración 35. Zonas de toma de imágenes terrestres. (Infraestructura de Datos Espaciales de España disponible en <http://www.idee.es/>).

Todas las fotos se han tomado teniendo en cuenta las siguientes características:

- Distancia a los objetos de unos 3 metros en casi todas las imágenes.
- Deben aparecer la misma parte de los elementos en mínimo tres fotografías, siendo preferible que aparezcan en más.
- Evitar los ocultamientos.



5.5 Procesamiento de las imágenes

Según establece Paula Núñez, para el procesamiento de imágenes los métodos más usados son dos: procesado mediante el uso de métodos fotogramétricos tradicionales o mediante programas pertenecientes al campo de la visión por computador. (Núñez, 2016)

En el primer grupo, como requisito fundamental se establece la alta precisión en la determinación de los puntos y el modelo 3D, siguiendo el siguiente proceso:

1. Calibración de la cámara
2. Identificación de los GCP
3. Obtención de puntos homólogos
4. Orientación
5. Obtención de productos finales

Mientras que en el segundo grupo los programas trabajan para obtener un procesamiento rápido y un producto final eficiente de la siguiente manera:

1. Orientación relativa de las imágenes y calibración automática simultáneamente en un sistema arbitrario
2. Extracción de puntos homólogos
3. Desestimación de los outliers
4. Uso de los GCP para trasladar y rotar el bloque fotogramétrico a un sistema de referencia específico (opcional)
5. Obtención de productos finales

A grandes rasgos, esta división corresponde con lo que en fotogrametría tradicional eran: orientación por modelos independientes (primer grupo), aerotriangulación (segundo grupo).

Para este proyecto, se han empleado los programas pertenecientes al segundo grupo, siendo los más conocidos: Pix4D Mapper Pro, Photomodeler y Agisoft Photoscan. Todos ellos son de pago, pero cuentan con una versión de prueba de varios días. (Ver Tabla 5)

Tabla 5. Software para procesamiento de imágenes.

Sotware	Pix4D Mapper Pro	Agisoft Photoscan	PhotoModeler
Versiones	- Prueba 30 días -Licencia: 2600 €/año	- Prueba 30 días -Licencia ilimitada: 3367 €	- Prueba 10 días -Licencia: 2625 €/año
Logo			

Debido al gran volumen de datos con el que se va a trabajar, se requiere de un ordenador con una buena memoria RAM. Por ello, como se ha dicho en el apartado 5.1.3 se ha utilizado la computadora de la sección de Topografía de la empresa DroneSpain. Además, la empresa dispone de las licencias de Pix4D Mapper Pro y de Agisoft Photoscan, por lo que el software PhotoModeler ha quedado descartado.

Durante el procesamiento de las imágenes, Agisolt Photoscan ha dado una serie de problemas. Al comienzo funcionaba correctamente, pero durante el proceso de orientación se bloqueaba continuamente y no respondía. Después de dos horas de procesado se cerraba y se perdía todo el trabajo. Se cree que una posible causa sea el volumen de imágenes. Por todo ello, también ha quedado descartada esta opción y se ha realizado el procesado únicamente mediante el software Pix4DMapper Pro.

Pix4Dmapper, como se ha explicado antes, convierte automáticamente las imágenes tomadas con cámaras de mano, con RPAS o con aviones en modelos 3D. Además, también permite obtener mapas 2D de alta precisión y exportar todos los resultados a formatos CAD y SIG, para extraer la información cartográfica. (Pix4D, 2012; Balaguer Puig, 2015)

El proceso se divide en tres etapas o pasos que se explicarán en detalle más adelante:

- **PASO 1: Ajuste en bloque.** Se buscan puntos comunes en las imágenes y se determinan las correspondencias entre ellos; a partir de éstas se calcula la posición de la cámara para cada imagen y se optimizan los parámetros de calibración de la cámara. El resultado es el conjunto de posiciones de la cámara y una nube poco densa de puntos 3D del objeto.

- **PASO 2: Generación de una nube de puntos 3D más densa.** A partir de las imágenes orientadas se calcula la profundidad para cada imagen y se combina esta información en una sola nube de puntos muy densa.
- **PASO 3. Obtención de malla 3D con textura.** Construcción de una malla poligonal 3D texturizada que representa la superficie del objeto basándose en la nube de puntos densa.

Todo se realiza de una vez, pero entre paso y paso el usuario puede realizar una revisión y edición del producto con el fin de corregir errores, seleccionar la zona de interés, ajustar los parámetros a definir en los siguientes pasos, etc.

Como se muestra en la Ilustración 36, además de las propias imágenes, el programa necesita información sobre el posicionamiento de la cámara en un sistema de coordenadas determinado y los parámetros relativos al proceso de calibración.

Antes de comenzar con el proceso, se deben tener claro los significados de estos parámetros, conocidos como extrínsecos e intrínsecos.

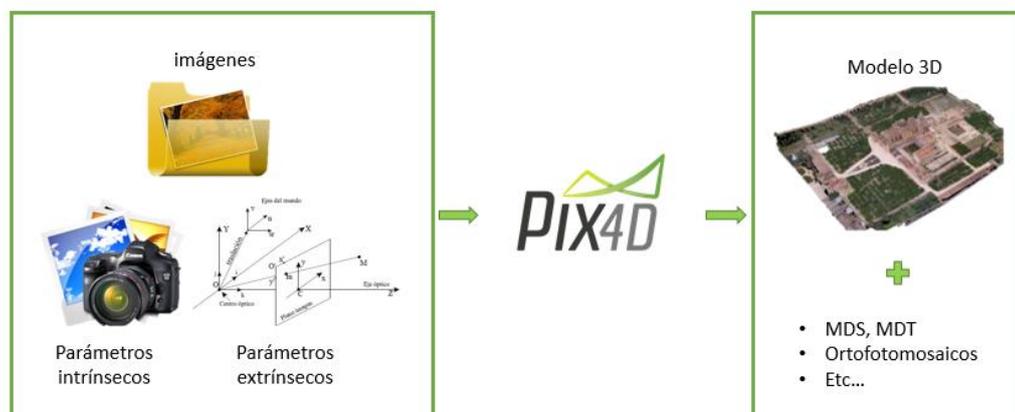


Ilustración 36. Inputs y outputs del proyecto. (Ruiz, 2013)

5.5.1 Parámetros intrínsecos

Los parámetros intrínsecos (Ilustración 37) son los que definen la geometría interna y la óptica de las cámaras. Determinan cómo se proyecta el mundo 3D en las imágenes fotográficas. Estos parámetros se establecen en la calibración (Ruiz, 2013) y son:

- El punto principal (punto C): punto de intersección entre el plano de la imagen y el eje óptico¹⁶.
- Distancia focal: distancia que existe entre el centro óptico (punto O) y el punto principal. Se expresan en coordenadas píxeles o en milímetros.
- Distorsión: función, normalmente expresada en forma de polinomios, que representa la diferencia entre la posición en la que se proyecta un elemento sobre el plano de la imagen y la posición en la que se hubiera proyectado si el sistema óptico se comportase como una perspectiva perfecta. Es debida a las diferentes reflexiones y refracciones que sufre el haz en su recorrido a través de la óptica, así como a las deficiencias en la alineación de sus componentes.

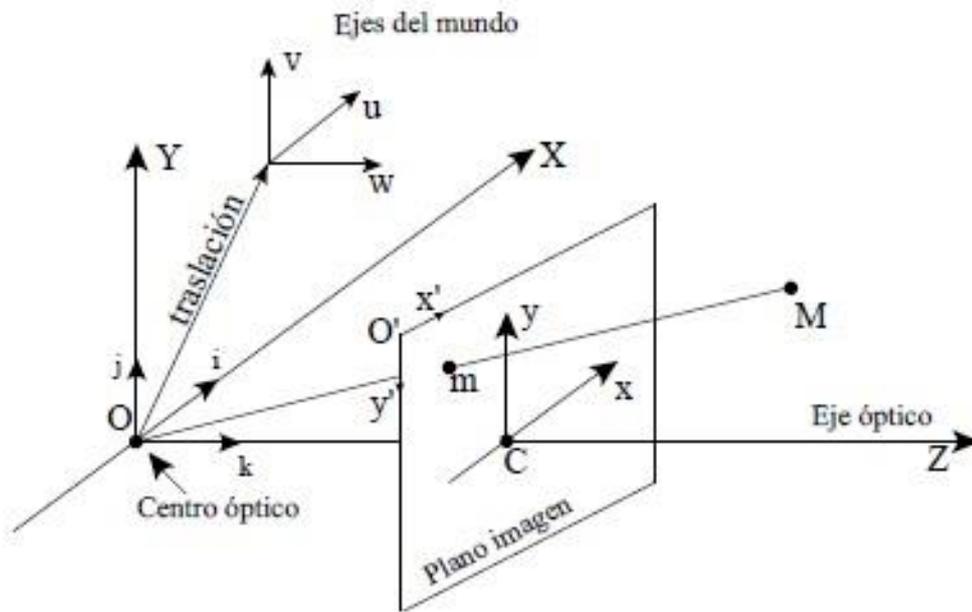


Ilustración 37. Parámetros Intrínsecos. Fuente: (Ruiz, 2013)

5.5.2 Parámetros extrínsecos

Estos parámetros (ver Tabla 6) relacionan los sistemas de referencia del mundo real, con los sistemas de referencia de cada cámara en el momento en el que se toman las imágenes. Indica la posición del centro óptico y orientación de la cámara con respecto

¹⁶ Eje óptico: Recta perpendicular al plano de la imagen que pasa por el centro óptico de cámara O.



a los ejes de mundo real. Para ello se emplean los parámetros (Aracena Pizarro et al. , 2005):

Tabla 6. Definición de parámetros extrínsecos.

Parámetro Extrínseco	Descripción
R_x, R_y, R_z	Ángulos que relacionan la rotación de los ejes de la cámara con respecto a los ejes del mundo real.
T_x, T_y, T_z	Componentes que determinan la ubicación del centro óptico de la cámara respecto a los ejes del mundo real.

Estos datos se conocen mediante el GPS y sistema IMU¹⁷ (unidad de medición inercial) instalado en el dron para la fotogrametría aérea, y mediante el GPS del Iphone para la fotogrametría terrestre. Tanto el *smartphone* como el RPAS pueden dar un error de posicionamiento de ± 3 metros.

Para trabajos topográficos dónde se quieran obtener ortofotos o modelos 3D métricos es muy importante reducir el error de posicionamiento y conseguir precisiones centimétricas. Para ello, generalmente se obtienen puntos de apoyo (GCP) con topografía clásica, a partir de mapas topográficos o mediante modelos digitales ya existentes. Sin embargo, como el principal objetivo de este trabajo es el de lograr un modelo 3D que se vaya a utilizar para fines no métricos se ha considerado suficiente la precisión de las coordenadas que ofrecía el sistema GNSS dron y el del Iphone 6, y no se ha realizado apoyo de campo.

5.5.3 Configuración de las opciones de procesamiento

Debido al número y al peso de las imágenes, se han realizado dos proyectos por separado y se han fusionado después. Uno para toda la fotogrametría aérea (de ahora en adelante FA) y otro para la fotogrametría terrestre (en adelante FT).

¹⁷ IMU: del ingles Inertial Measurement Unit. Dispositivo electrónico que mide la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales de un aparato utilizando de manera combinada acelerómetros y giróscopos.

En ambos proyectos, los pasos y opciones a seguir en Pix4D son los mismos, por lo que únicamente se explicará y se mostrarán las opciones del proyecto de FA.

En primer lugar, creamos un proyecto mediante la opción **Proyecto → Nuevo Proyecto**.

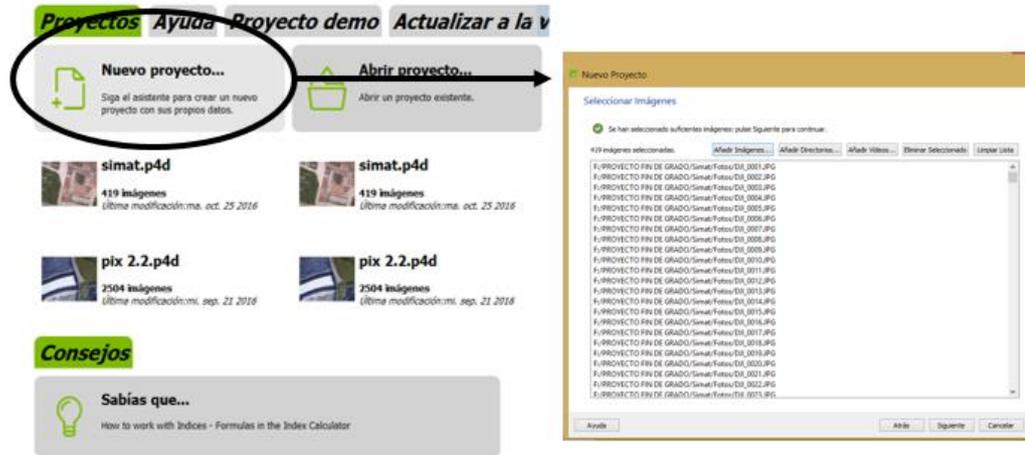


Ilustración 38. Creación de nuevo proyecto e introducción de imágenes a Pix4D. (Captura de Pix4D)

A continuación, como se muestra en la imagen anterior se añaden las 419 imágenes tomadas por el dron (en el caso de FT se añaden las 41 imágenes). En este punto, el software lee los datos Exif¹⁸ de las imágenes y pide que se introduzca el sistema de coordenadas del proyecto y el sistema de coordenadas de salida, que es el ETRS89 UTM Zona 30. Pix4D es capaz de alinear las imágenes sin necesidad de puntos de referencia, calculando las orientaciones en un sistema arbitrario; y posteriormente la nube de puntos puede ser escalada y posicionada como convenga.

18 Exif: (formato de archivo de imagen intercambiable, del inglés *Exchangeable image file format*) es una especificación cuya última versión fue publicada en abril de 2002 para los formatos de archivos imagen usados por las cámaras digitales. Las etiquetas de metadatos muestran información sobre la fecha y hora de captura, sobre la configuración de la cámara (modelo de cámara y fabricante, orientación, velocidad del obturador, apertura de diafragma, distancia focal, velocidad de obturación, medidor de exposición y velocidad de película), información sobre la localización y descripción sobre el copyright. (Dávila, 2006)

Pix4D Mapper Pro permite seleccionar varias plantillas en función del producto final que se quiera obtener. En este caso, será establecida como plantilla la opción de Modelo 3D.

Como las imágenes que utilizamos ya se encuentran georreferenciadas por los ficheros Exif y no se pretende obtener productos métricos, no es necesario realizar el paso de la introducción de puntos de apoyo (GCP).

Antes de comenzar con el procesamiento es necesario establecer los parámetros característicos de la nube de puntos y de la malla con textura que se quiere obtener. Las opciones elegidas se analizan a continuación.

Nube de Puntos

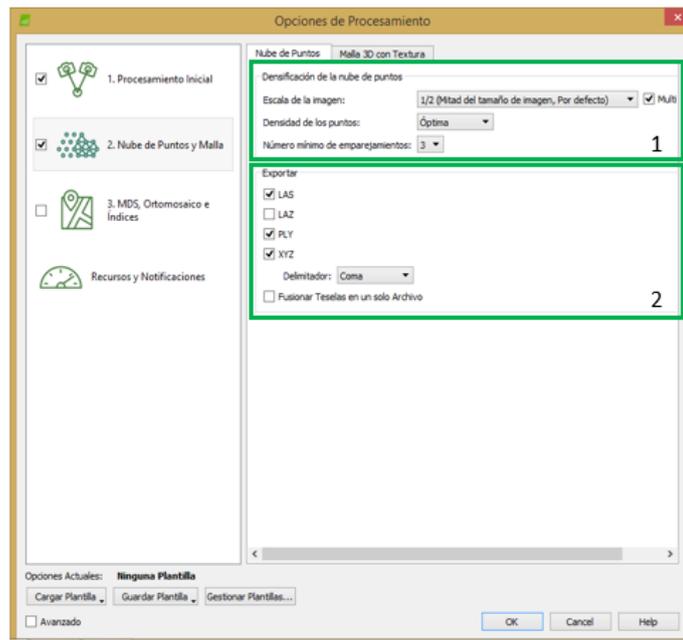


Ilustración 39. Opciones de Procesamiento de la nube de puntos. (Captura de Pix4D)

Esta ficha permite configurar:

1. Densificación de la nube de puntos : el usuario define los parámetros para la densificación de la nube. En este apartado se ha seleccionado las siguientes opciones.

Tabla 7. Configuración de la nube de puntos.

<p>Escala de imagen = $\frac{1}{2}$ (Mitad del tamaño de imagen, por defecto)</p>	<p>La densidad de puntos por pixel depende de la “calidad” (escala de las imágenes de entrada) seleccionada para el trabajo. $\frac{1}{2}$ indica que se utilizará la mitad del tamaño de las imágenes originales para calcular los puntos 3D.</p>
<p>Densidad de puntos = Óptima</p>	<p>Este parámetro define la densidad de la nube de puntos.</p>
<p>Número mínimo de emparejamientos = 3</p>	<p>Para que se pueda generar un punto 3D, debe encontrarse en 2 imágenes o más un <i>keypoint</i>, obteniendo mejores resultados cuanto mayor sea el número de imágenes en las que aparece. Para mejorar la calidad del modelo, se ha establecido que como mínimo un punto 3D se generará cuando se encuentre un <i>keypoint</i> en 3 imágenes.</p>

2. Exportación: Permite al usuario seleccionar el formato de salida de la nube de puntos. Se han seleccionado los formatos: **.las**, **.ply** y **.xyz**.

Malla con textura 3D

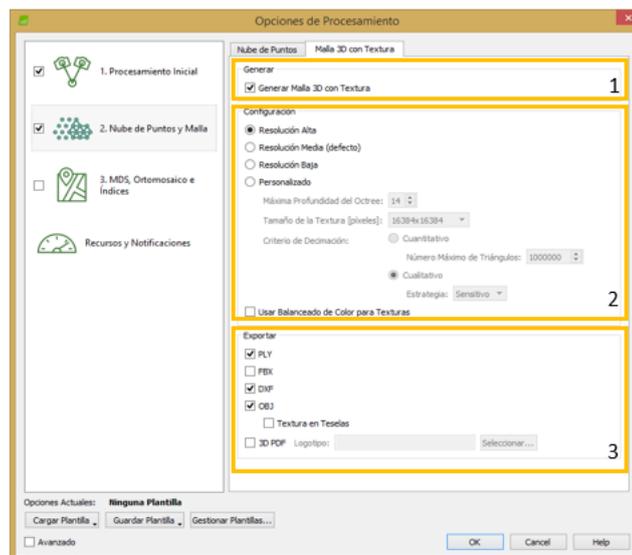


Ilustración 40. Opciones de procesamiento de la malla 3D con textura. (Captura de Pix4D)

Esta otra ficha permite configurar las opciones siguientes:



1. Generación. Siempre debe estar activada para que se cree la malla.
2. Configuración. Permite al usuario seleccionar los parámetros relativos a la generación de la textura de malla 3D. Se ha seleccionado la opción **Resolución Alta**, que indica un alto nivel de detalle y las características que aparecen en la siguiente tabla.

Tabla 8. Configuración de la malla de textura 3D

Máxima Profundidad de Octree = 14	Para crear la malla 3D, el proyecto se subdivide en subregiones de forma iterativa. Estas se organizan en una estructura de árbol, y este parámetro indica cómo se deben crear las subdivisiones. Los valores más altos (como el seleccionado) significan que se crearán más regiones, por lo tanto, cada región será pequeña, lo que llevará a una mayor resolución y a tiempos de cálculo mayores.
Tamaño de la textura en píxeles = 16.384 x 16.384	Este parámetro define la resolución de la textura.
Criterio de Decimación = Cualitativo (Sensitivo)	Se genera una malla de triángulos conocida como TIN (<i>Triangular Irregular Network</i>). Durante el proceso se generan demasiados triángulos, y el criterio de decimación indica cómo deben desecharse. La opción seleccionada indica que los triángulos seleccionados tienen como prioridad mantener la geometría original de la malla de textura 3D.

3. Exportar. Permite al usuario seleccionar los formatos de salida. Se han seleccionado **.ply, .obj y .dxf**.

Una vez establecidos todos los ajustes, se inicia el procesado. Los tiempos de procesado pueden verse en el Anexo E, en la Parte II: Anexos.

5.5.4 Procesado de las imágenes

Como se ha señalado antes, el procesado se divide en tres pasos que se relatan a continuación.

PASO 1: Ajuste en bloque o *Bundle Adjustment*

Para generar el modelado 3D, Pix4D emplea el algoritmo SfM, que obtiene al comienzo una nube de puntos discreta. En los procesos tradicionales de ajuste manual de puntos comunes entre imágenes, estas nubes no estaban especialmente pobladas. Sin embargo, con SfM dichas nubes pueden llegar a tener millones de puntos. El paso inicial para generar las nubes poco densificadas es el ajuste en bloque o *Bundle Adjustment*. (Pix4D, 2012; Pereira, 2013)

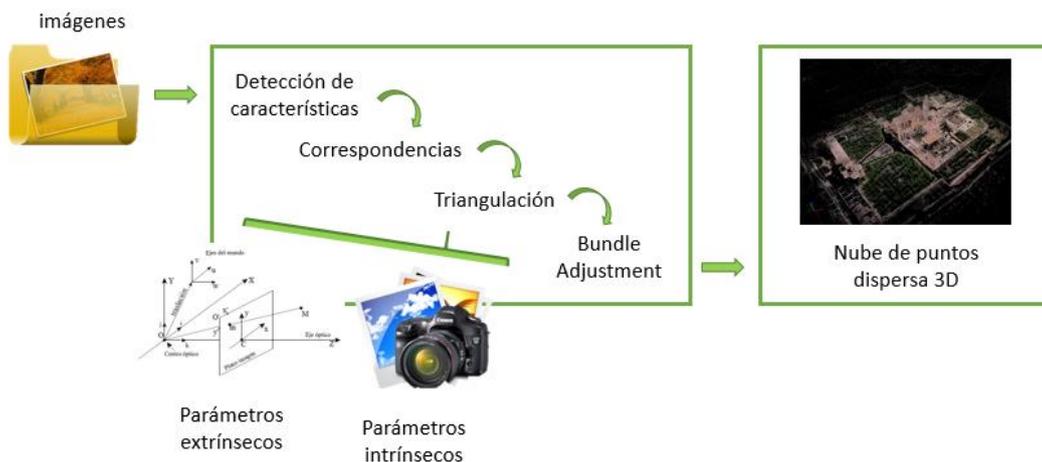


Ilustración 41. Resumen del ajuste en bloque en Pix4D. (Propia con imágenes de www.google.es).

Mediante este ajuste, se identifican una serie de píxeles coincidentes en el solape de las distintas imágenes (Tie Points¹⁹ o *keypoints*) que permiten calcular la posición de la cámara en el espacio. Este proceso consiste en el uso de los haces de rayos producidos por los fotogramas, y se trata de un método que genera multitud de ecuaciones que requieren de una gran potencia de cálculo. Durante esta fase, también tiene lugar de forma automática la calibración.

¹⁹ Tie Points (*keypoints*): puntos homólogos en las imágenes.

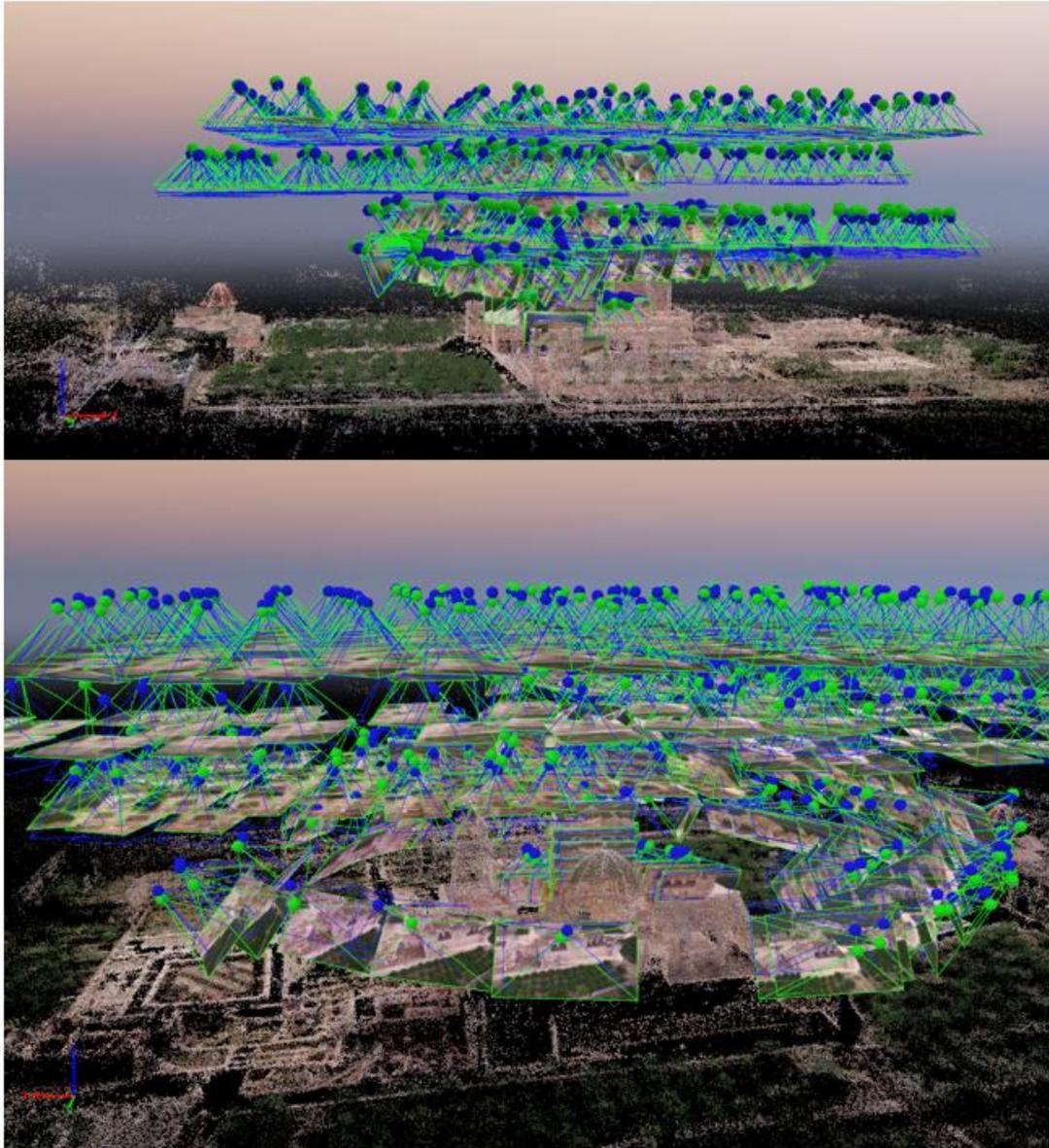


Ilustración 42. Posición de cámaras y haces de rayos en Pix4D. (Captura de pantalla de PIX4D)

En la Ilustración 42 se puede observar la posición de la cámara en el espacio para todas las imágenes. En la imagen se pueden apreciar los distintos tipos de vuelos, se distingue claramente que los más altos se han realizado con la cámara en posición nadiral, y por la zona más baja con la cámara en posición oblicua.

En cada imagen queda representado con una circunferencia de color azul la posición inicial de la cámara para cada imagen y con una circunferencia de color verde la posición de la cámara tras el ajuste.

Para una mejor visualización de la nube de puntos, en la imagen Ilustración 43 se han ocultado los haces de rayos y las cámaras.



Ilustración 43. Nube de puntos sin haces de cámaras. (Captura de pantalla de PIX4D)

PASO 2: Densificación de nube de puntos

Una vez tenemos ajustado el bloque, se debe comenzar con la segunda etapa del proceso, densificar la nube. Aunque las nubes discretas pueden aportar información sobre la geometría son insuficientes para evaluar en detalle la escena del monasterio, por eso el siguiente paso de SfM es una nube densa con millones de puntos que describen con más detalle las superficies y geometría de los objetos. (Pereira, 2013)

La información de dichos puntos se compone por unas coordenadas XYZ (XY en ETRS89 UTM Zona 30 y Z en alturas elipsoidales) además del color almacenado como valores RGB. Durante los procesos de SfM la información colorimétrica es extraída de los píxeles de las imágenes empleadas en el proceso, por lo que, si disponemos de una fiabilidad colorimétrica en dichas imágenes, ésta se traslada a nuestra nube de puntos densa. Este fenómeno exige una especial atención a la gestión del color en las imágenes utilizadas con el fin de asegurar la fidelidad colorimétrica. (Pereira, 2013)

En la FA, la primera nube tenía un total de 2.092.860 puntos, y tras la densificación se obtienen casi 10 veces más que en la primera fase, unos 19.533.145 puntos. En la FT se han pasado de 93.631 a 2.110.215 puntos.



Ilustración 44. Densificación de puntos en FA. (Captura de pantalla de PIX4D)

En algunas ocasiones aparecen más puntos de los deseados denominados. Mediante un editor dentro del propio programa se pueden eliminar los puntos que no interesen manualmente.

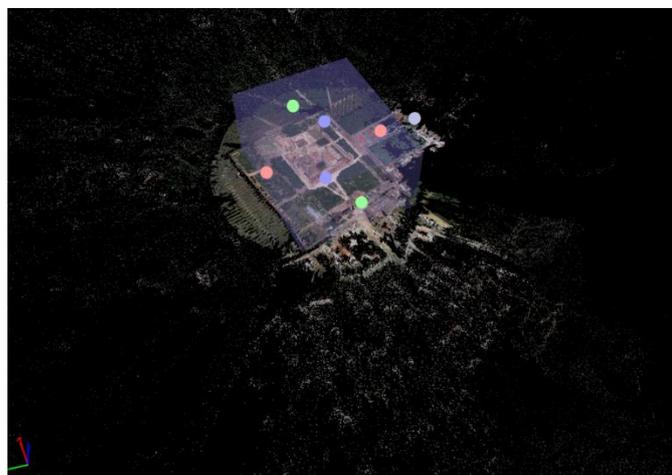


Ilustración 45. Herramientas de eliminación de puntos en Pix4D. (Captura de pantalla de PIX4D)

En el proyecto, se han eliminado todas aquellas zonas que no correspondían al monasterio. (Ver Ilustración 46)

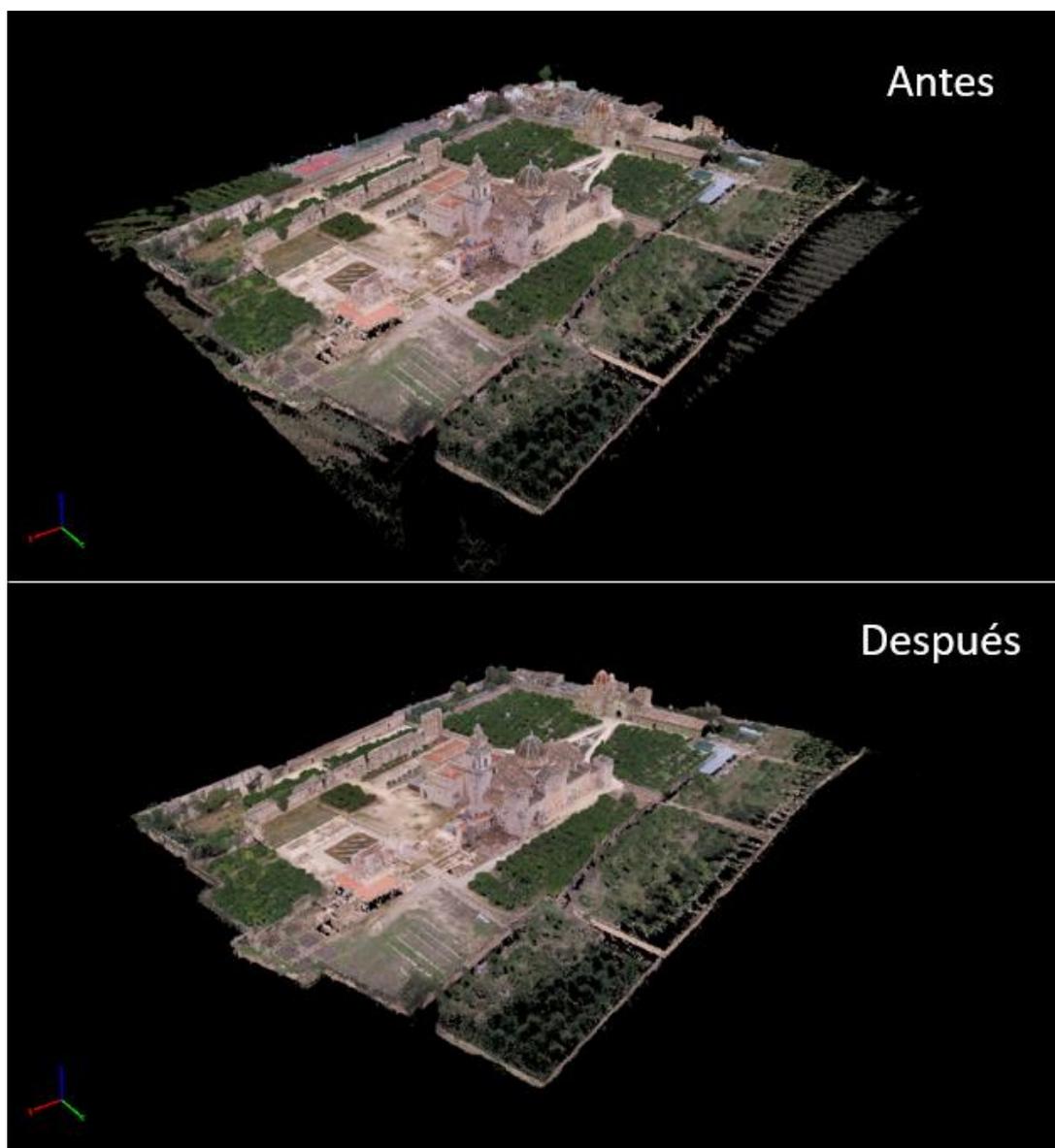


Ilustración 46. Comparación entre el modelo antes y después del eliminado de outlets. (Captura de pantalla de PIX4D)

Aunque la nube de puntos que se ha creado es muy completa, aún hay zonas que quedan sin datos. (Ilustración 47)



Ilustración 47. Ejemplo de zonas sin datos dentro de la nube densificada. (Captura de pantalla de PIX4D)

Estas zonas vacías principalmente se dan en función de dos factores:

- Geometría de los elementos: en algunas zonas no es fácil encontrar *keypoints*. Por lo que, en estos lugares los objetos no se construyen bien en 3D y aparecen zonas vacías o deformes. Esto ocurre, por ejemplo, en zonas de vegetación dónde debido a la compleja geometría de ramas y hojas no se construyen con exactitud los objetos. Además, la vegetación oculta el suelo y al cambiar el punto de vista en 3D se aprecian faltas.

Una solución para encontrar más puntos característicos en dichas zonas es volar más alto, ya que así las imágenes sufren menos distorsiones de perspectiva y es más fácil de detectar similitudes visuales entre las imágenes superpuestas.

- Puntos de vista: se trata de un factor a tener en cuenta, ya que hay zonas sobre superficies verticales como muros, puertas, ventanas que no se captan con la cámara en posición nadiral pero sí en posición oblicua. Estas zonas se encuentran con cierta profundidad y en muchas ocasiones aparecen oscuras, por lo que es complicado que aparezcan imágenes de ellas y que se encuentren *keypoints*. (Ver puerta en la Ilustración 47)

Una posible solución es realizar más tomas oblicuas con la cámara.



- Textura: el aspecto de la textura se ve condicionado por la iluminación, la reflectancia de los materiales de las superficies, la posición de la cámara y la existencia de elementos exteriores como niebla o polvo. Por lo que, hay ciertas partes del monasterio donde las texturas no se han logrado correctamente, como por ejemplo en la Fuente de los Tritones o en los caminos.

PASO 3: Creación de malla 3D con textura

El último paso consiste en la transformación de la nube de puntos densificada en una malla de triángulos 3D. En este paso se genera un producto conocido con TIN (*Triangular Irregular Network*). (Pix4D, 2012)

Cuando se crea la malla hay que tener en cuenta varios aspectos:

- La distancia entre la malla y los puntos de la nube densificada está optimizada para ser mínima. Esto implica que los puntos de la malla no tienen que corresponder necesariamente con los de la nube.
- Durante el PASO2, la información colorimétrica es extraída de los píxeles de las imágenes empleadas en el proceso. Por lo que, si disponemos de una fiabilidad colorimétrica en dichas imágenes, ésta se traslada a nuestra nube de puntos densa. (Pereira, 2013)
- En los formatos .ply y .obj las texturas se generan en un archivo .jpg asociado que contiene una imagen 2D plana con los valores RGB.

El archivo de textura .jpg debe estar en la misma carpeta con el mismo nombre que el de estos formatos para que pueda ser leído por otro software.



Ilustración 48. Imagen .jpg de textura.

El resultado de los proyectos de FT y FA se puede ver en la siguiente imagen.

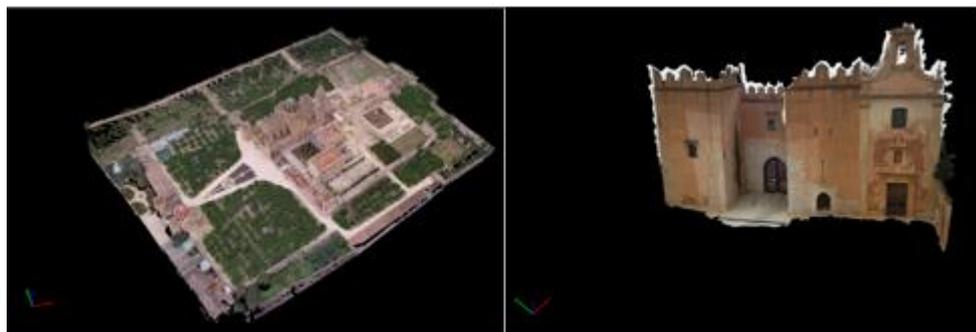


Ilustración 49. Mallas con texturas de la FT y de la FA. (Captura de pantalla de PIX4D)

Para finalizar, se debe generar un tercer proyecto en el que fusionemos la FT y la FA. Pix4D tiene la opción de fusionar dos proyectos existentes. En un primer momento, esta ha sido la opción elegida, pero se ha generado un modelo deforme con muchos errores en las texturas y en las coordenadas de muchos puntos. Por lo tanto, se ha decidido emplear el software MeshLab para esta tarea.

5.5.5 Fusión de proyectos con Meshlab

MeshLab es un software libre *open-source* que se emplea para el procesamiento y edición de redes de triangulación 3D. Permite el procesamiento de un modelo logrado tras un escaneo 3D, con herramientas para editar, limpiar, inspeccionar, renderizar... el modelo.

El primer paso para la fusión de los procesos es importar ambas mallas al programa.

Comandos: **File** → **Import Mesh**.

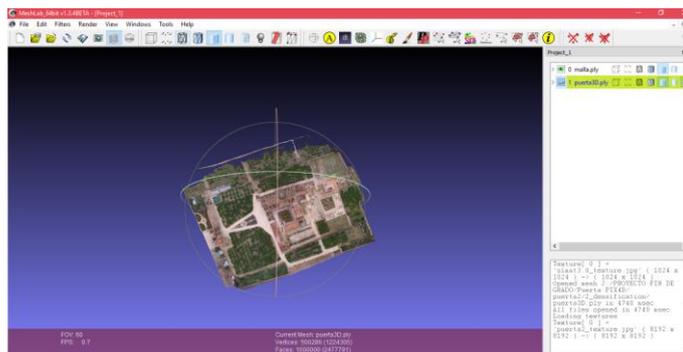


Ilustración 50. Importación de las mallas a Meshlab. (Captura de MeshLab)

El software posee una herramienta denominada **Align Tool** que permite alinear las capas que se deseen. Tras pulsar sobre la herramienta aparece una ventana que permite elegir la capa que se considera de referencia (en este caso hemos elegido la del monasterio), y la que hay que alinear (puerta). A continuación, se deben seleccionar cuatro puntos de la capa que se va a alinear. Se han elegido las esquinas que se muestran en la imagen de la derecha.



Ilustración 51. Puntos para alinear.

Después, se deben seleccionar los mismos puntos en la capa de referencia en el mismo orden que se seleccionaron en el modelo a alinear.

Tras finalizar el proceso se obtiene un modelo con la puerta alineada con el monasterio, como se aprecia a continuación.

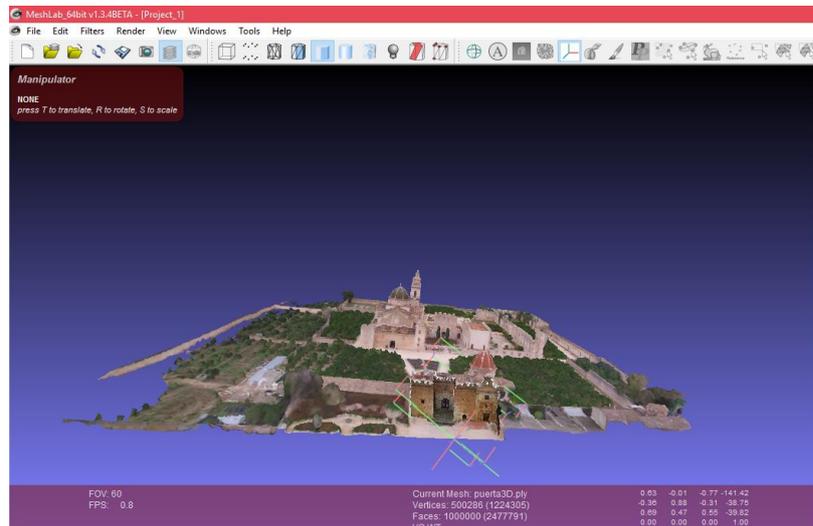


Ilustración 52. Resultado del fusinado final. (Captura de MeshLab)

5.5.6 Cambio de escala y resolución

Para poder visualizar correctamente en dispositivos móviles el monasterio a través de la aplicación de RA y para facilitar la tarea de incorporar el modelo a una página web es necesario reducir las dimensiones del modelo 3D. Para este paso también se ha empleado el software Meshlab.

El programa cuenta con una herramienta que permite realizar mediciones denominada **Measuring Tool**. Con ella, se ha obtenido la medida aproximada de la diagonal del monasterio (284 metros).

Se pretende que la aplicación de RA aumentada se visualice a través de un folleto informativo A4, cuya diagonal mide 0,364 m. Por lo tanto, para adecuar el monasterio a este A4 se debe escalar utilizando el factor de escala 0,001 a cada una de sus medidas como se indica en la imagen 53.

Comandos: **Filters** → **Normals, Curvatures and Orientation** → **Transform: Scale**

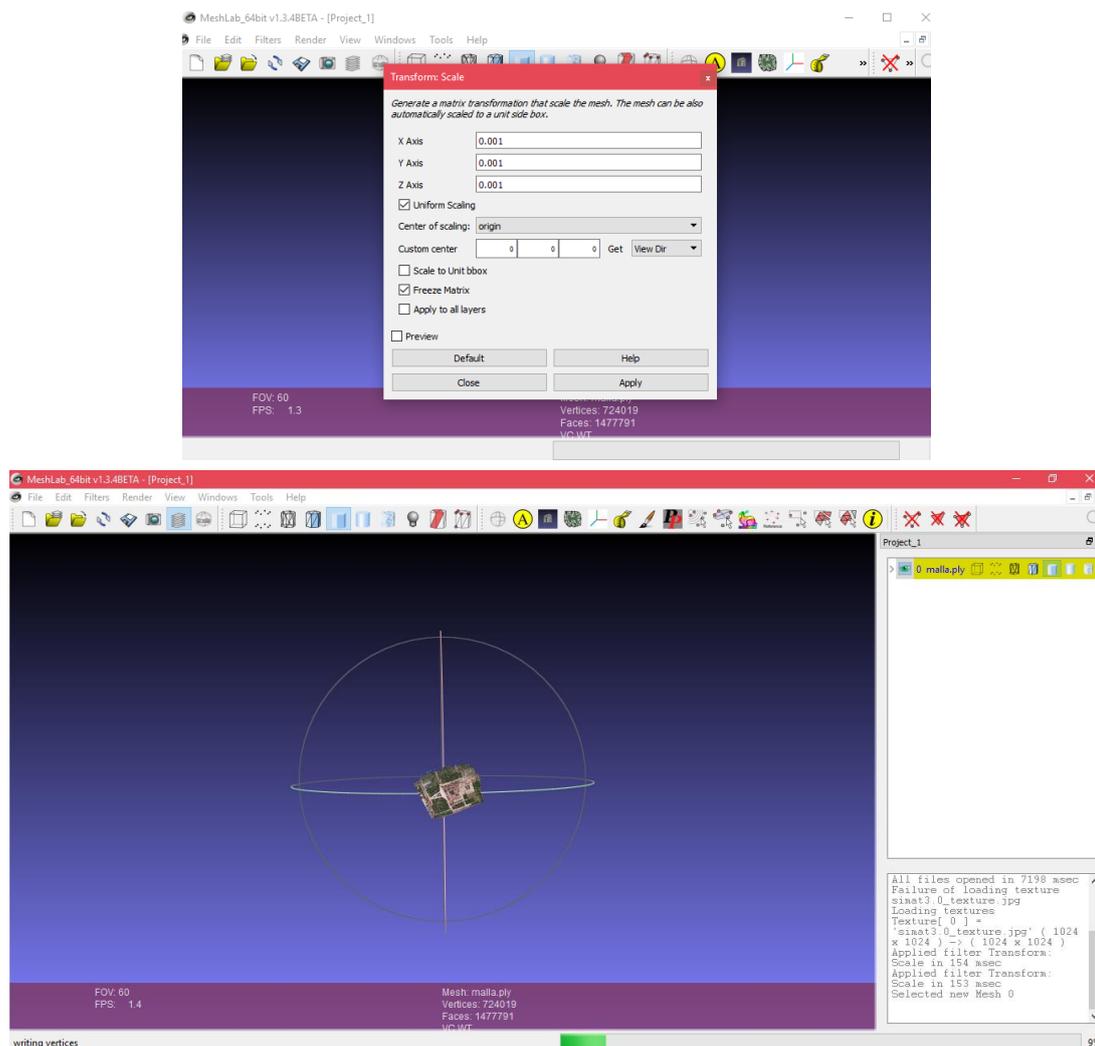


Ilustración 53. Escalar modelo 3D. (Captura de pantalla de MeshLab)

Para finalizar, se exporta el modelo en un archivo .obj mediante las siguientes órdenes.

Comandos: **File** → **Export Mesh...**

5.5.7 Análisis del modelo final

En el Anexo F, se encuentran los informes de calidad de los dos proyectos (FA y FT) realizados con Pix4D Mapper Pro. A continuación, se va a describir un breve resumen del modelo final fusionado y sus características principales.

- Se ha obtenido un GSD final de 2,85 cm. La altura máxima de vuelo ha sido de 75m y la mínima de 31m, por lo que la altura de vuelo más alto ha



excedido dos veces la altura de vuelo más baja. Sin embargo, a pesar de no haberse cumplido la recomendación a priori fijada en la Ecuación 1, se ha creado el modelo correctamente.

- El número de imágenes totales ha sido 460 (419 de FA y 41 de FT). Todas ellas calibradas en un solo bloque.
- Se han identificado 37.468 puntos por imagen en FA y 20.978 en FT. Lo cual ha sido suficiente para correlar las imágenes entre sí.
- En ambos proyectos aparece un símbolo de exclamación amarillo en la georreferenciación. Esto ocurre porque no se han introducido puntos de apoyo.
- El emparejamiento representa la media de puntos emparejados por imágenes. Se han obtenido resultados de alta calidad, con una media de 6.200 emparejamientos por imagen calibrada en FT y 16.000, en FA.
- Todas las imágenes han sido calibradas correctamente.
- Ajuste en bloque. A continuación, se muestra el número de puntos que se ha utilizado para realizar el ajuste en bloque, el número de puntos 3D que se han generado haciendo coincidir los puntos en las imágenes iniciales y el promedio de error de re-proyección en píxeles.

Tabla 9. Puntos generados en el ajuste en bloque.

	FA	FT
Número de puntos para el ajuste en bloque	6779217	271812
Número de puntos 3D generados en el ajuste	2092860	93631
Promero del error de re-proyección (Píxeles)	0,391	0,360

- Los *keypoint* son proyectados formando puntos 3D. La precisión aumenta cuando el número de imágenes que se utilizan para el cálculo de sus coordenadas es mayor.



5.6 Realidad Aumentada

En esta fase, siguiendo la línea de objetivos marcados, se pretende generar una aplicación de Realidad Aumentada para la difusión del modelado 3D.

El desarrollo de estas apps se trata de una metodología que no se ha estudiado durante el grado, por lo que los primeros pasos han sido la búsqueda de bibliografía y la elección de una librería acorde con el proyecto.

Se ha realizado un pequeño estudio (Ver Tabla 10) de los principales softwares y librerías que se encuentran en el mercado para crear RA y se ha elegido la librería Qualcomm Vuforia junto con el software Unity 3D por los siguientes motivos (en verde en la tabla):

- Mayor facilidad de aprendizaje gracias a la cantidad de tutoriales existentes en internet
- Foro de soporte con ayuda proporcionada por ingenieros técnicos
- Soporte para iOS y para Android entre otros
- Soporte de los formatos del modelo 3D (.obj,. ply, .fbx) y compatibilidad con softwares de diseño
- Disponibilidad de una versión gratuita muy completa que permite la generación e importación de modelos 3D de grandes dimensiones, ya que Unity 3D está pensado para la creación de videojuegos.



Tabla 10. Librerías para RA

Librería	Ar-media	metaio Creator	Qualcomm Vuforia	Layar
Software	<ul style="list-style-type: none"> - Trimble SketchUp - Autodesk 3ds Max - Autodesk Maya - MAXON Cinema 4D - Vectorworks - Nemetschek Scia Engineer 		<ul style="list-style-type: none"> - Unity 3D - Xcode - Android Studio 	
Compatibilidad (.fbx, .obj, .ply)	NO	SI (.obj, .fbx)	SI (.obj, .fbx)	SI (.obj)
VERSIONES	<ul style="list-style-type: none"> - Gratuita - Pro (Pago) 	<ul style="list-style-type: none"> - Gratuita - Pro (Pago) 	<ul style="list-style-type: none"> - Gratuita - Pro (Pago) 	<ul style="list-style-type: none"> - Gratuita - Pro (Pago)
Soporte de plataformas	iOS, Android, Windows, PC y Mac OS X.	iOS, Android, Windows PC y Mac OS X.	iOS, Android, Windows phone, Blackberry, Windows PC, Mac OS X, Linux.	iOS, Android, Blackberry
Soporta modelos 3D grandes	SI	NO	SI	NO
Foro de ayuda	SI	SI	SI	SI
Logo				



5.6.1 Arquitectura de Qualcomm Vuforia

Como se ha explicado al comienzo del capítulo, Qualcomm Vuforia es un pack de desarrollo software SDK para el desarrollo de aplicaciones móviles y *tablet* que permite la creación de Realidad Aumentada. (Franco Serrano, 2011; Molina, 2012; Uceda, 2014)

Una aplicación basada en el SDK de Vuforia está compuesta por:

- **Cámara** (*Camera*). Se asegura de que toda la escena es capturada y pase al *Tracker*. El usuario activará o desactivará la cámara para que se inicie o finalice la captura.
- **Convertor de imágenes** (*Image Converter*). Se encarga de convertir la escena capturada por la cámara en un formato apto para que OpenGL ES²⁰ la renderice y la trate. Esta conversión incluye un incremento de la resolución o muestreo (*sampling*) con el fin de disponer de la imagen capturada en diferentes resoluciones.
- **Tracker**. Este componente contiene los algoritmos de visión por computador necesarios para reconocer, interpretar y realizar el seguimiento de objetos reales. Basándose en la imagen capturada por la cámara, varios algoritmos se encargan de detectar imágenes, marcadores u objetos y de evaluar posibles botones virtuales. Los resultados son empleados para el renderizado y puede accederse a ellos a partir del código de la aplicación. El *tracker* es capaz de cargar y activar más de una base de datos al mismo tiempo.
- **Renderizador del vídeo** (*Video background renderer*): Renderiza la imagen obtenida y guardada del objeto.
- **Código de la aplicación** (*Application Code*). El desarrollador ha de iniciar todos los componentes anteriores y llevar a cabo tres pasos fundamentales en el código de la aplicación. Por cada fotograma procesado, el objeto de estado se actualiza y se llama al método de procesamiento de la aplicación. El desarrollador debe:

²⁰ OpenGL ES (Open Graphics Library for Embedded Systems) es una variante simplificada de la especificación estándar que define una API (interfaz de programación de dispositivos) para *smartphones*, PDAs y consolas de videojuegos.



- i. Preguntar al objeto de estado si ha detectado nuevos objetos (*targets* y/o *markers*) o actualizar el estado de estos elementos.
 - ii. Actualizar el estado de la aplicación con los nuevos datos entrantes.
 - iii. Renderizar los gráficos correspondientes por encima de la imagen de la cámara.
- **Bases de datos del dispositivo** (*Device Databases*). Esta base de datos se crea mediante el “*Target Manager*” online. Se compone de un fichero de configuración XML y otro en código binario que permiten al desarrollador configurar determinadas características relacionadas con el *tracking*. Los ficheros son compilados por la aplicación online como un paquete instalador, empleados por Vuforia SDK durante la ejecución.
 - **Bases de datos en la nube** (*Cloud Databases*). Se crean empleando el “*Target Manager*” online o mediante el API²¹ de Vuforia. Durante la ejecución se buscan los marcadores mediante la función de reconocimiento de la nube que realiza una búsqueda visual, basándose en las imágenes enviadas por la cámara. Aparte de la información de las marcas, los marcadores en cuestión pueden contener una serie de metadatos.

5.6.2 Interfaz de Unity 3D

A continuación, se describe la organización del entorno gráfico de trabajo. En la imagen se muestra la interfaz principal con el nombre de cada ventana. (Franco Serrano, 2011)

²¹ API (del inglés *Application Programming Interface*). Es la abreviatura de “Interfaz de Programación de Aplicaciones”, y consiste en una “llave de acceso” a funciones que podemos utilizar de un servicio web provisto por un tercero, dentro de nuestra propia aplicación web, de manera segura y confiable.

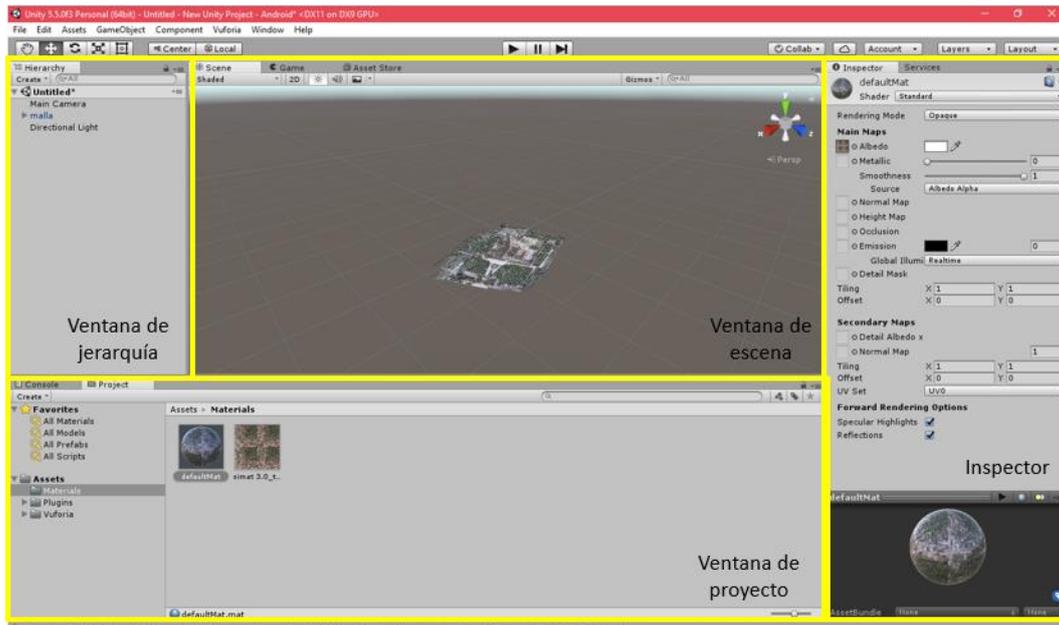


Ilustración 54. Interfaz de desarrollo de Unity (Captura de Unity 3D)

Dónde:

- **Ventana de proyecto.** Muestra la librería de recursos que están disponible en nuestro proyecto.
- **Ventana de escena.** Permite navegar visualmente y editar la escena en la que se está trabajando. Muestra el espacio virtual de la misma,
- **Ventana de jerarquía.** Aparecen los objetos que se están empleando (*GameObjects*) ordenados según la jerarquía con la que han sido configurados.
- **Inspector.** Es la región donde aparecen listados los componentes de los objetos (*GameObjects*) seleccionados. Permite modificar alguna de sus características, como por ejemplo las texturas.

5.6.3 Procedimiento de creación de la aplicación

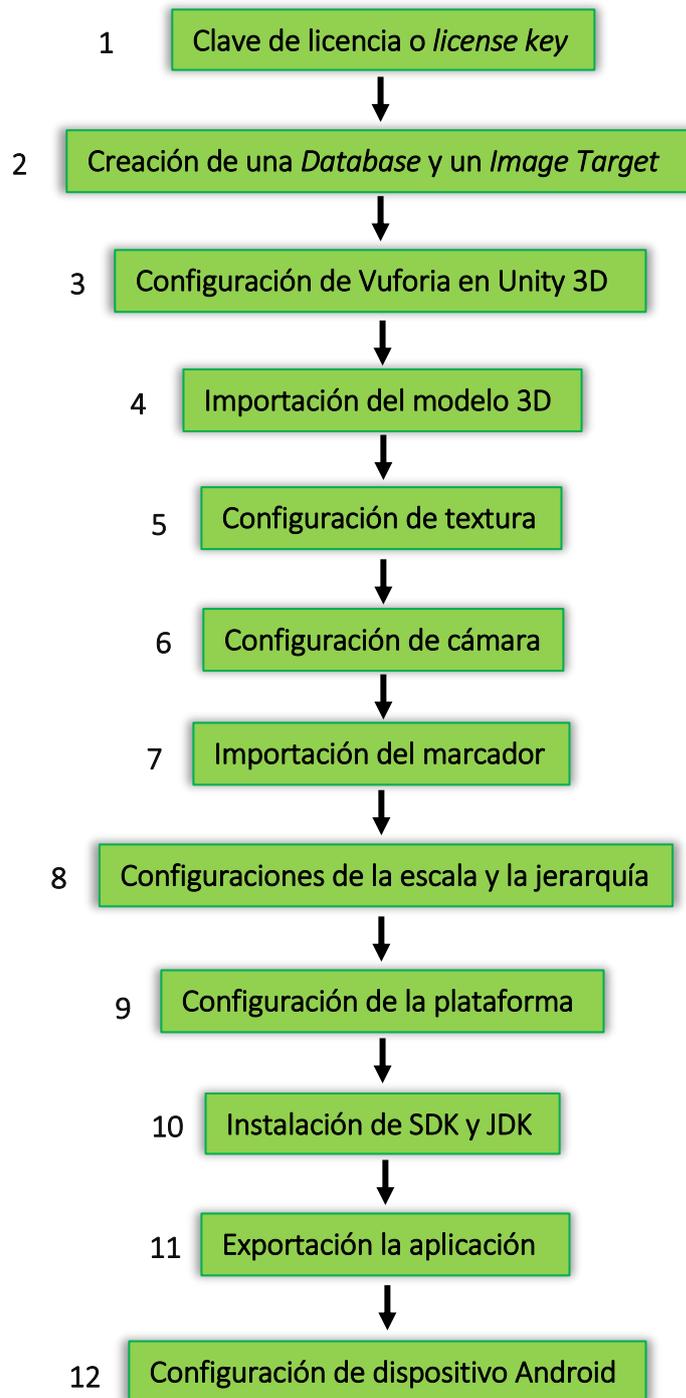
Para acceder a la plataforma Unity 3D²² y a la librería Vuforia²³ es necesario registrarse para obtener un usuario y contraseña mediante su web.

²² Web de descarga de Unity 3D: <https://unity3d.com/es/get-unity/download>

²³ Web de descarga de la librería Vuforia: <https://developer.vuforia.com/downloads/sdk>

Se ha elegido el uso de marcadores o *targets* para el *tracking*. Como se ha dicho, estos *targets* son imágenes que reconoce el software mediante la cámara del dispositivo. Al detectar un marcador, se muestra la RA en la pantalla.

A continuación, se muestra un esquema con todos los pasos para lograr la aplicación para un dispositivo móvil Android, que se relatarán de manera más detallada en los siguientes apartados.





1 Clave de licencia o *license key*

Antes de comenzar con el programa Unity 3D, es necesario crear una clave de licencia por cada aplicación mediante la página web de Vuforia (Ilustración 55).

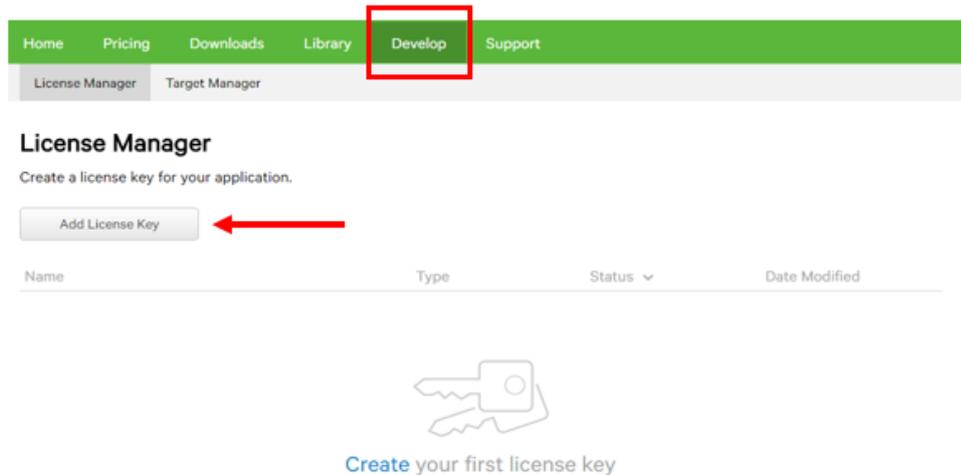


Ilustración 55. Obtención de licencia de Vuforia (<https://developer.vuforia.com/>)

Se debe dar un nombre único a cada licencia, en este caso Monasterio_TFG.

Una vez realizado este paso, se obtiene una clave válida que posteriormente se deberá copiar en el proyecto de Unity más adelante.

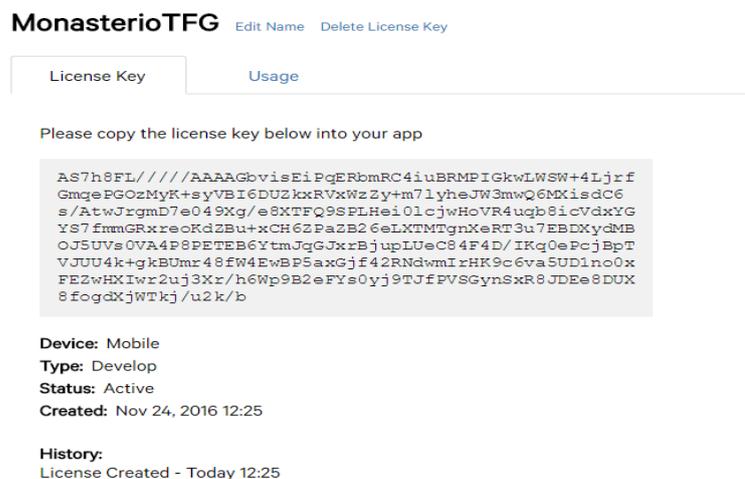


Ilustración 56. Clave de licencia para la app. (<https://developer.vuforia.com/>)

2 Creación de una *Database* y un *Image Target*

Es necesario la creación de un almacén de datos con los distintos marcadores que se utilizarán para visualizar el monasterio. Para ello, de nuevo en la página web de Vuforia, se debe entrar en el menú **Target Manager**, y añadir una **Database**.

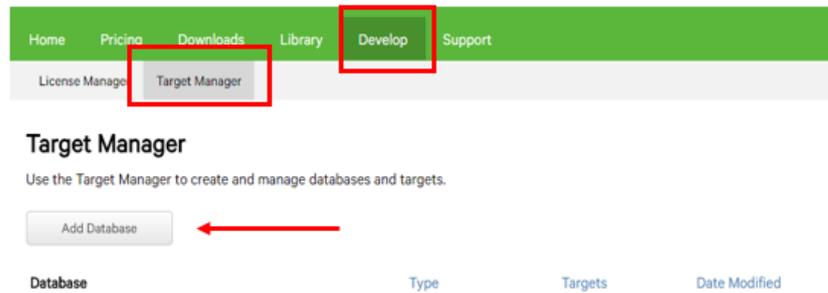


Ilustración 57. Añadir una *Database* para el proyecto. (<https://developer.vuforia.com/>)

En esta página aparecerán todas las bases de datos de los marcadores que se vayan creando.

Una vez creada, se pulsa en ella y se crea un marcador o *target*, conocido en las librerías de Vuforia como **Image Target**.

Desde la **Database** ya creada, se debe seleccionar el botón **Add Target**. Únicamente permite seleccionar una imagen .jpg con un tamaño máximo de 2Mb.



Ilustración 58. *Image Target*.

Se ha creado una imagen con el diseño del monasterio para esta fase. La web ha asignado 5 estrellas a nuestra imagen (puntuación máxima que puede otorgar), lo cual significa que el software de reconocimiento podrá identificar el marcador fácilmente y con precisión.

Una vez completados todos estos pasos, se descarga la *Image Target* desde el mismo portal seleccionado que se quiere para la plataforma Unity.

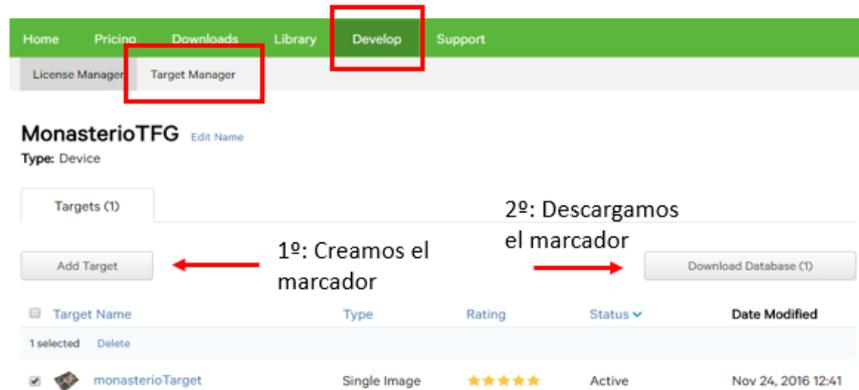


Ilustración 59. Obtención del marcador. (<https://developer.vuforia.com/>)

3 Configuración de Vuforia en Unity 3D

Una vez se ha descargado el software Unity 3D y se ha realizado el registro, el primer paso es la creación de un nuevo proyecto. A continuación, se debe importar la librería de Vuforia descargada al principio.

Comandos: **Assets** → **Import Package** → **Custom Package**

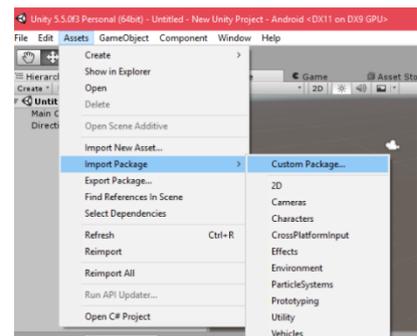


Ilustración 60. Importación de Vuforia a Unity 3. (Captura de pantalla de Unity 3D)

4 Importación del modelo 3D

A continuación, se debe introducir el modelo 3D del monasterio al programa. Se pueden importar mallas a Unity en los formatos de archivos 3D del tipo .obj.

El procedimiento es muy similar al de la importación de la biblioteca de Vuforia.

Comandos: **Assets** → **Import New Asset...**

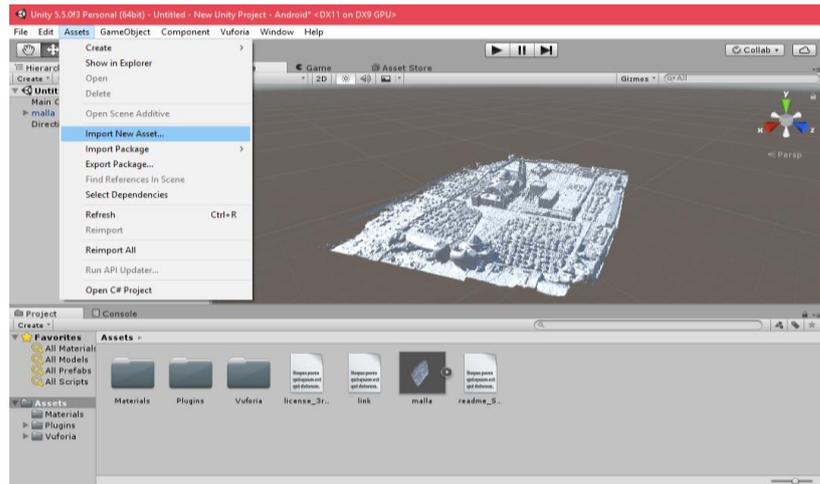


Ilustración 61. Unity 3D con el monasterio importado. (Captura de pantalla de Unity 3D)

Se debe tener en cuenta la siguiente serie de configuraciones a la hora de realizar la importación:

- **Sistema de coordenadas:** el programa Unity 3D no gestiona los sistemas de coordenadas como cualquier programa GIS o CAD. Por ello, a pesar de ser un modelo georreferenciado, al importarlo aparece con coordenadas XYZ (0, 0,0).
- **Textura/Material:** es necesario configurar los materiales y texturas. Cuando se importa el modelo por primera vez, se visualiza un monasterio metálico. Se debe incorporar manualmente el archivo de textura .jpg para que se visualicen correctamente los materiales del monasterio.

5 Configuración de textura

Como se puede ver en la imagen anterior (Ilustración 61), el monasterio aparece sin textura. Los archivos .obj son formatos de datos simples que representan la geometría 3D. En nuestro caso, la textura se encuentra asociada al archivo .obj mediante una imagen .jpg con el mismo nombre que el archivo. (Rodríguez, 2016)

En el programa, las texturas se tratan como materiales y deben importarse de una manera peculiar.

Comandos: *Assets* → *Materials* → *Import New Assets*

Una vez importada la imagen, en la pestaña *Inspector* se debe arrastrar el .jpg hasta *Albedo* y ya se consigue visualizar la textura.



Ilustración 62. Importación de la textura. (Captura de pantalla de Unity 3D)

6 Configuración de cámara

En Unity 3D aparece una cámara por defecto que no sirve para la creación de RA. En *la ventana de jerarquía*, se debe eliminar la *Main Camera* del proyecto que viene por defecto y sustituirla por *Ar Camera* incorporada en la librería Vuforia.

En este paso, se debe copiar la clave de licencia que hemos generado al inicio y pegarla dentro de los parámetros de *Ar Camera* en la ventana de *Inspector*.

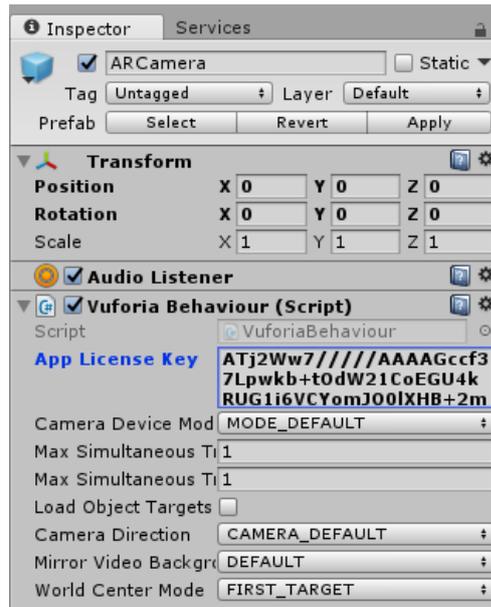


Ilustración 63. Clave de licencia en AR Camera. (Captura de pantalla de Unity 3D)

7 Importación del marcador

Se debe importar el *Image Target* descargado al comienzo al igual que se hizo con la librería de Vuforia y se debe colocar en el espacio de tal forma que abarque todo el modelo 3D. (Ilustración 64)

Comandos: *Assets* → *Import Package* → *Custom Package*

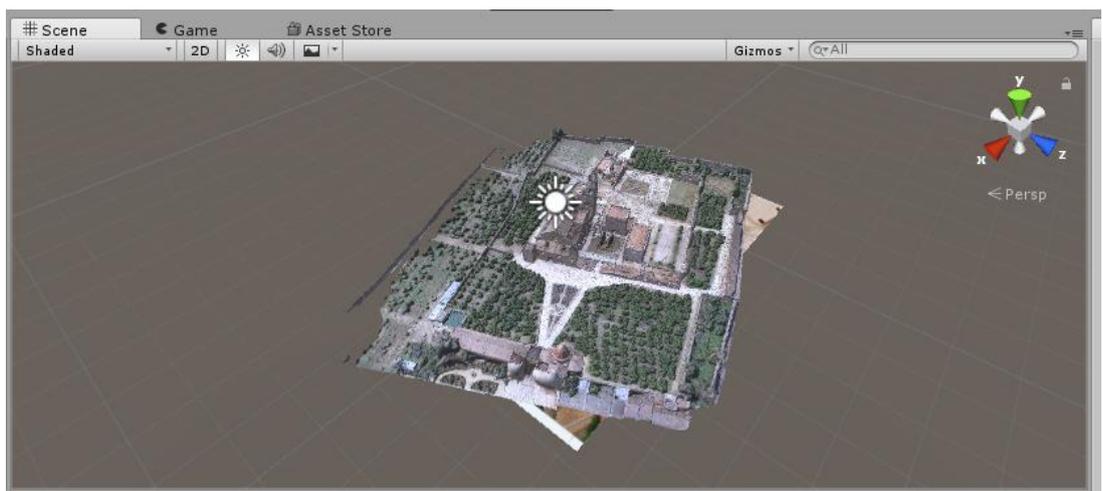


Ilustración 64. Modelo 3D con Image Target. (Captura de pantalla de Unity 3D)

Al igual que se hizo con *Ar Camera*, en la ventana de jerarquía se debe añadir el objeto *Image Target* que incorpora la biblioteca Vuforia. Y en Inspector, se debe seleccionar como *Database* la creada antes.

8 Configuración de la escala y jerarquía

Las unidades de medida que utiliza Unity son centímetros. Es decir, 1 unidad equivaldría a 0,01 metros dando como escala que una unidad equivale a 1 centímetro. Por eso es fundamental tener en cuenta que se debe modificar la escala manualmente. (Franco Serrano, 2011)

Por lo tanto, el tamaño del monasterio y debe ser escalado para que se pueda visualizar bien en dispositivos móviles. En este caso, la escala de nuestro modelo es correcta, porque se ha escalado anteriormente con el software MeshLab en el apartado 5.5.6.

Para que la aplicación funcione correctamente, la ventana de jerarquía deberá tener el siguiente orden:

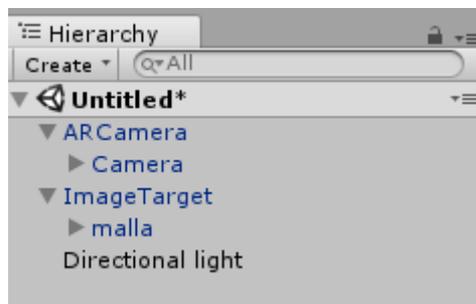


Ilustración 65. Configuración de la jerarquía de la escena. (Captura de pantalla de Unity 3D)

Se ha decidido añadir una luz para mejorar el aspecto visual de la escena.

Comandos: **Game Object** → **Light** → **Directional light**

9 Configuración de la plataforma

Se debe modificar el tipo de plataforma, que por defecto aparece para PC, Mac y Linux, y modificarla para Android. Esta plataforma se debe descargar de la página web de Unity 3D, ya que no viene incorporada por defecto.



10 Instalación de SDK y JDK

Antes de poder exportar la aplicación, se necesita tener instalado en el ordenador el último SDK de Android²⁴ y el JDK de Java²⁵, y configurar Unity para que compile el lenguaje de programación de Java y Android. Ambos se deben descargar de sus páginas web oficiales.

11 Exportación la aplicación

Con la escena completa, solo queda exportarla al dispositivo Android.

Comandos: **File → Build Settings → Android → Build**

Antes de llevar a cabo la exportación, se debe dar un nombre de compañía y un nombre a la aplicación a través de Inspector.

La exportación crea un archivo en formato .apk ejecutable en cualquier dispositivo móvil.

12 Configuración de dispositivo

El archivo .apk se ejecuta nada más pulsarlo, y realiza la instalación del visualizador de RA en el móvil.

Puede que al ser una aplicación no perteneciente a Google Play Store, de algunos problemas a la hora de instalarse. Para corregirlos, se debe aplicar la siguiente configuración al dispositivo Android.

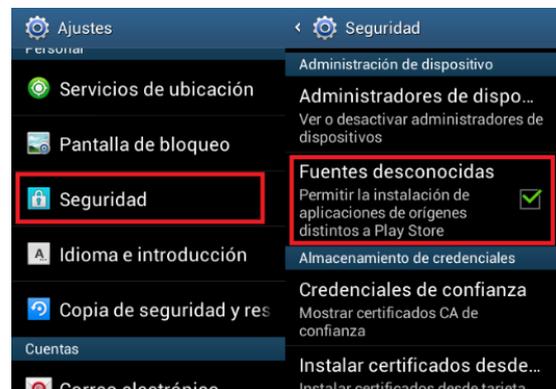


Ilustración 66. Configuración de dispositivo móvil.
(Captura de smartphone Android)

²⁴ SDK de Android Studio: <https://developer.android.com/studio/install.html>

²⁵ JDK de Java: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>

Unity 3D también permite la opción de instalar directamente la aplicación desde el software. Para ello se debe seguir los siguientes pasos en el dispositivo móvil y en Unity 3D.



Ilustración 67. Configuración depuración USB (Captura de smartphone Android).

Comandos Unity: **File** → **Build Settings** → **Android** → **Build & Run**

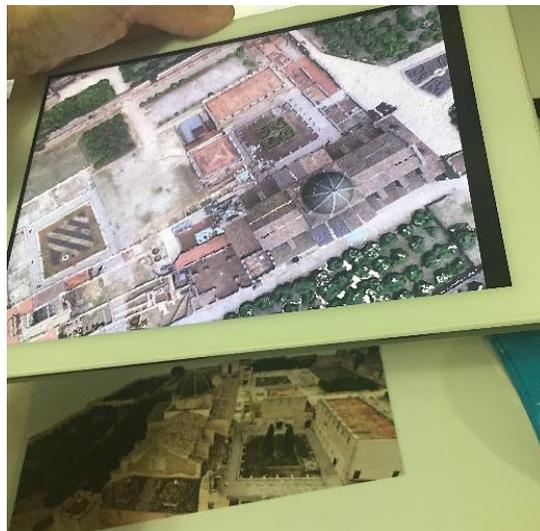


Ilustración 68. Resultado final.

5.7 Productos generados

Los productos generados han sido los siguientes:

Tabla 11. Productos finales

Pix4D				
Nombre	Nombre Archivo	Formatos	Tamaño	Imagen
Nube de puntos densificada	NubeDensificada	.obj	105 Mb	
Malla 3D del monasterio	Malla3D	.obj .ply	105 Mb 66 Mb	
Imagen de textura del monasterio	Malla3D	.jpg	46 Mb	
Malla 3D de la puerta	Puerta3D	.obj .ply	70 Mb 44 Mb	
Imagen de textura de la puerta	Puerta3D	.jpg	12 Mb	
MeshLab				
Nombre	Nombre Archivo	Formatos	Tamaño	Imagen
Modelo final (unión FA y FT)	Mon	.obj	265 Mb	
Modelo final reducido	Mon_Sim	.obj	178 Mb	
Unity 3D				
Aplicación de RA	MonRA	.apk	116 Mb	

Todos los archivos nombrados en la tabla anterior han sido entregados a la Fundació Jaume II el Just para que los emplee en las tareas de difundir y publicitar el monasterio.

A modo de prueba y exclusivamente para este proyecto, se ha generado un folleto informativo A4 y se ha subido el modelo 3D a un servicio web para comprobar si ambos cumplen con los objetivos fijados.

5.7.1 Folleto informativo de RA

Se ha creado un folleto A4 informativo dónde se incluye *la image target* para visualizar el monasterio en RA y un código QR a través de la cual poder descargar la aplicación. Se puede encontrar en Anexo C.

5.7.2 Modelo 3D en Sketchfab

Uno de los objetivos fijados en el Capítulo 1 de la Memoria era la obtención del modelo tridimensional con la precisión y resolución adecuada para poder introducirlo en la página web de la Fundació Jaime II el Just. A modo de prueba, se ha decidido importar a Sketchfab el contenido 3D creado.

Sketchfab²⁶ es un servicio web para publicar, compartir e integrar modelos 3D interactivos en línea en tiempo real sin necesidad de *plugins*.

Para poder subir los modelos, es necesario crear un usuario y contraseña. Una vez dentro de la plataforma, se pulsa la pestaña **UPLOAD** y se selecciona el modelo.

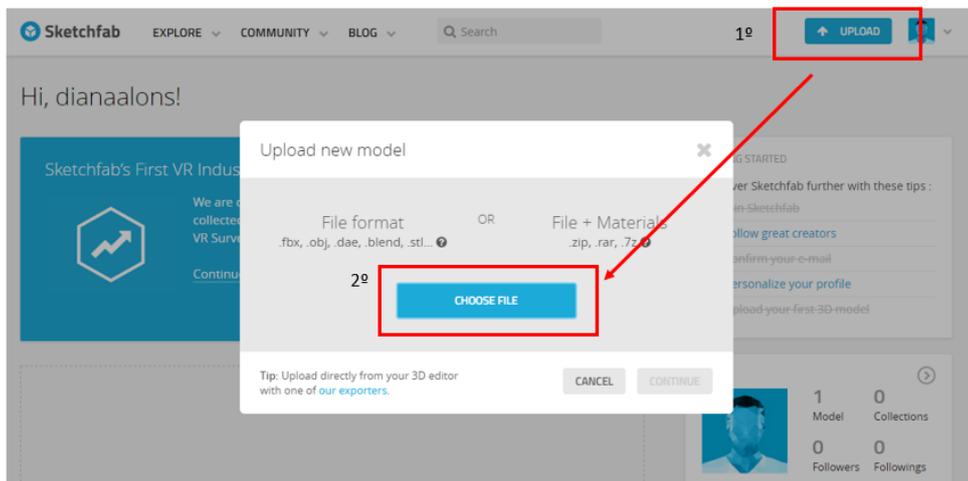


Ilustración 69. Importación de modelos a Sketchfab (Captura de web de Sketchfab)

²⁶ <https://sketchfab.com/>

Tras varios minutos se ha creado correctamente el modelo, que se puede visualizar en el siguiente enlace web:

- <https://skfb.ly/Zwnn>
- Contraseña: monasterio

Se han creado 8 etiquetas para dar nombre a las estancias del monasterio, correspondientes con la imagen 14 del apartado 4.4.4 de la Parte I: Memoria, que permiten interactuar con el usuario según se acerca a ellas.



Ilustración 70. Visualización del monasterio en Sketchfab. (Captura de pantalla de Sketchfab)

5.7.3 Análisis de los productos obtenidos

A continuación, se realiza un análisis de los aspectos positivos y negativos de los productos finales obtenidos.

Modelo Final

- En general, la calidad del modelo es correcta. En algunas zonas la geometría de los objetos no se ha construido correctamente y se pueden apreciar distorsiones, sombras y huecos. Esto ocurre principalmente en las zonas



exteriores cómo por ejemplo en la Obra Nueva o en el muro de la Plaza Sur. Se debe a que se han tomado menos imágenes de estos elementos ya que el trabajo principalmente se ha centrado en la Iglesia de Santa María y el en Claustro del Silencio.

- Por otro lado, se puede apreciar una diferencia entre la textura de la toma terrestre y la aérea. Una posible solución para este problema sería realizar modificaciones en las imágenes antes de obtener el modelo 3D de la puerta e igualar el tono de la textura con las fotografías aéreas.

Aplicación de RA

- En general, la apariencia del modelo texturizado es correcta y la primera impresión visual muy atractiva.
- La versión gratuita se puede comercializar. Sin embargo, hay que tener en cuenta que al emplear la aplicación con el dispositivo Android aparece el logo de la marca Unity 3D en la esquina inferior derecha.
- La aplicación es sencilla de manejar para el usuario, y se puede personalizar introduciendo botones o nuevos marcadores con conocimientos avanzados de programación.
- Al realizar un escalado del modelo para disminuir el tamaño del archivo se pierde cierto detalle en los objetos y en la calidad final, pero no se aprecia al emplear la aplicación.
- Cumple los objetivos fijados de difusión del monasterio.

Modelo 3D visualizado en Sketchfab

- La plataforma web permite permitir introducir imágenes de fondo, ajustar la vista y agregar o mejorar materiales directamente sobre el modelo.
- El modelo 3D en Sketchfab se carga con rapidez y permite una sencilla interacción entre el usuario y el monasterio. Además, gracias a las etiquetas creadas, se puede ofrecer más información sobre cada edificio que forma el monasterio.



6

Valoración económica y conclusiones

En este capítulo, se concluye la presente memoria con un análisis del trabajo realizado, de las decisiones tomadas y de los resultados finales obtenidos.





El objetivo principal de este trabajo se resumía en la obtener un modelo 3D del monasterio de Santa María de la Valldigna que fuese posible visualizar mediante Realidad Aumentada para hacer más atractiva su difusión. Se puede afirmar que dicho objetivo se ha cumplido satisfactoriamente.

6.1 Valoración económica

Se ha realizado una valoración económica analizando el trabajo sin tener en cuenta las tareas de investigación y la duración real de la redacción de todo el trabajo final de grado. De esta forma, se pretende conocer el presupuesto aproximado que tendría un trabajo de este tipo en una empresa real.

Se ha supuesto que el trabajo se podría realizar en 11 días, empleando 2 para la toma de datos en campo y 9 para todo el procesado de datos, generación de informes y obtención de productos finales. (Ver Tabla 13 en el Anexo A).

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos a partir de los cálculos que se detallan en el Anexo A.

Tabla 12. Costes y presupuesto del proyecto.

	Unidades	Coste/hora (€)	Horas	Total (€)
COSTES DIRECTOS (CD)				
Mano de Obra	1	18,48	88	1626,39
Material Auxiliar		0,02	88	1,34
			Total CD	1627,73
COSTES INDIRECTOS (CI) / GASTOS GENERALES (GG)				
		Coste/hora (€)	Horas	Total (€)
Oficina	Gastos material	0,50	88	43,76
	Gastos Generales	3,94	88	346,50
			Total CI	390,26
Costes (€) =CD + CI		2017,99		



	Total (€)
Imprevistos	201,80
Total costes (Costes + Imprevistos)	2219,79
Beneficio neto industrial	28,25
Total (Precio =Costes + Imprevistos + Beneficios)	2248,04
Total (IVA incluido 21%)	2720,13

El presupuesto final del trabajo en una empresa de topografía con los datos estimados es de 2720,13€ .

6.2 Conclusiones respecto a la metodología

Por un lado, para obtener el modelo 3D se ha empleado la fotogrametría convergente, capturando imágenes mediante el uso de drones y un dispositivo móvil y procesándolas con el software Pix4D Mapper Pro. Y por otro lado, se ha creado una aplicación de RA mediante el uso de Unity 3D con la biblioteca Vuforia. Tras su uso, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La fotogrametría utilizando drones es un método de obtención y análisis de estructuras tridimensionales que permite obtener mucha cantidad de información (millones de puntos con color RGB asociado) desde puntos de vista diferentes (aéreos) a los que proporcionan otras técnicas. Permiten alcanzar zonas imposibles de documentar con otros elementos.
- Se trata de una metodología que no causa ningún tipo de daños a la estructura del monasterio, ya que no hay contacto con el lugar en ningún momento.
- Se ha logrado una reconstrucción realista que cumple perfectamente con los objetivos fijados.
- Respecto a las horas de trabajo, mediante el uso de drones se reducen los tiempos en campo cuando hay que cartografiar áreas extensas con respecto a otras técnicas como la topografía clásica. En este caso, solo se disponía de 2h en las que el monasterio permanecía vacío y era legal realizar el vuelo, pero pudo realizarse sin problemas en 1h 10 min.

Una limitación a tener en cuenta en el trabajo ha sido la autonomía de las baterías, ya que cada una permitía volar durante una media de 15 minutos. Sin embargo, en la actualidad se está investigando sobre este tema para dotarlas de más tiempo de vuelo.



- Para los trabajos con Pix4D Mapper Pro y Unity 3D se debe disponer de ordenadores muy potentes capaces de soportar todo el volumen de datos que suponen el post-procesado y la edición del modelo 3D.
- Otro aspecto a destacar ha sido la normativa vigente en España. Solo está permitido volar una altura máxima de 120 metros y una distancia en horizontal de 500 metros respecto al punto de despegue, lo cual no suponía ningún problema. Sin embargo, solo se puede volar fuera del núcleo urbano. Por lo tanto, zonas como la entrada al monasterio, no han sido posible volarlas con el RPAS y ha sido necesario emplear fotogrametría terrestre.
- La cámara integrada en el dron no debe estar calibrada. Pix4D permite realizar una autocalibración de las imágenes sin el conocimiento de los parámetros de la cámara antes de tomar las fotografías.

Por otro lado, la utilización de la realidad aumentada cumple la tarea de difundir el patrimonio. Permitirá a los visitantes de manera sencilla y rápida interactuar con el monasterio y disfrutar mucho más de las visitas. Además, es una tecnología que se encuentra prácticamente al alcance de cualquiera.

Como conclusión final, se considera que tanto los drones como la Realidad Aumentada poseen un enorme potencial. La valoración global de ambos métodos es muy positiva.

6.3 Conclusiones respecto a los resultados

En lo referente a la creación del modelo 3D del monasterio, se ha obtenido un resultado realista. La principal ventaja del tipo de productos obtenidos es que permiten acercar el patrimonio a personas, tanto profesionales como particulares, sin que estas estén presentes físicamente en la localización del mismo. De esta forma, en el caso del monasterio, se puede acercar su contenido a personas que no se encuentran en el pueblo del mismo y, en el caso de profesionales, no necesitan desplazarse para realizar tareas de investigación o análisis sobre el mismo.

Respecto a la aplicación de Realidad Aumentada mediante Unity 3D, se ha descubierto que ofrece muchas posibilidades de introducir contenidos. El resultado obtenido ha sido sencillo y ha cumplido satisfactoriamente los objetivos fijados.



Finalmente, como opinión personal, concluir que el desarrollo de este proyecto ha sido muy satisfactorio, tanto a nivel académico como personal. He aprendido muchísimo durante estos meses, y he disfrutado conociendo los posibles usos y aplicaciones de estas nuevas tecnologías.

Destacar que, al comienzo del proyecto, no sabía apenas nada sobre los drones y la RA, y que todo se ha aprendido y realizado gracias a horas de investigación, y la ayuda los tutores del proyecto.



7

Bibliografía



Bibliografía

- Addati, G. A. ; Lance, G. P. (2014) Introducción a los UAVs, Drones o VANTs de uso Civil. UCEMA, Buenos Aires (Argentina).
- Aracena Pizarro, D. ; Campos, P. ; Tozzi, C. L. (2005) Comparación de técnicas de calibración de cámaras digitales. Revista facultad de ingeniería - universidad de tarapacá, Arica (Chile).
- Azuma, R. (1997) A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments vol. 6, 355–385. Disponible en <http://doi.org/10.1.1.30.4999>
- Balaguer Puig, M. (2015) Análisis empírico de soluciones fotogramétricas en estudios de erosión hídrica en laboratorio, Valencia (España).
- Basogain, X. ; Olabe, M. ; Espinosa, K. ; Olabe, J. C. (2010) Realidad Aumentada en la Educación: una tecnología emergente. Electrical and Computer Engineering vol. 5, 12–15, CBU (USA).
- Bérchez, J. (1983) Catálogo de monumentos y conjuntos de la Comunidad Valenciana: Catàleg de monuments i conjunts de la Comunitat Valenciana, Valencia (España). Disponible en: <http://www.jdiezarnal.com/monasteriodesantamariadevalldigna.html>
- Caro Martinez, M. ; Hernando Hernández, D. (2015) Realidad aumentada para el Museo de América.
- Dávila, R. (2006). Indexador semantico de documentos digitales. Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua.
- Diez Arnal, J. (2012) Real Monasterio de Santa Maria de la Valldigna en Simat de Valldigna (Valencia). Disponible en <http://www.jdiezarnal.com/monasteriodesantamariadevalldigna.html>
- Fernández Lozano, J. ; Gutiérrez Alonso, G. ; Calabrés Tomé, S. ; García Talegón, J. (2015) Drones: Nuevas aplicaciones geomáticas en el campo de las Ciencias de laTierra. IX Congreso Geológico de España vol. 16, 724–728, Salamanca (España).
- Franco Serrano, V. H. (2011) Preparación y exportación de modelos para la aplicación Unity. UNAM, Departamento de Realidad Virtual, 1–26.
- García García, F. (1983) El naixement del monestir cistercenc de la Valldigna. Universidad de Valencia, Valencia (España).
- Generalitat Valenciana. (2017) Fundación Jaume el Just. Monasterio de la Valldigna. Disponible en <http://www.fundaciojaumeeljust.es/monasterio-de-la-valldigna.php>
- Gundin, T. (2016) Remotely Piloted Aircraft System (RPAS). Aspectos técnicos y operacionales. Aequitas Virtual. Valencia (España)



ITAINNOVA (2014) Análisis: Realidad Aumentada aplicada a entornos industriales.

Disponible en

http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/InvestigacionInnovacionUniversidad/Areas/Sociedad_Informacion/Documentos/Estado del arte de Realidad Aumentada.pdf

Lazaridou, M. A. ; Patmios, E. N. (2012) Photogrammetry. Remote Sensing and Geoinformation, Aristotle University of Thessaloniki, Civil Engineering Faculty, Lab. of Photogrammetry-Remote Sensing, 69–71.

Marín Rubio, R. (2011) El Real Monasterio de Santa María de la Valldigna. Historia y Gestión del Patrimonio Artístico. Trabajo Fin de Grado de Historia y Gestión del Patrimonio Artístico. Granada (España).

Milgram, P. ; Kishino, F. (1994) Taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on Information and Systems, E77–D(12), 1321–1329. Disponible en <http://doi.org/10.1.1.102.4646>

Ministerio de Fomento. (2016) Marco Regulatorio de Drones. Disponible en http://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/cias_empresas/trabajos/rpas/marco/default.aspx

Molina, D. (2012) Realidad Aumentada en dispositivos iOS como sistema de ayuda a los alumnos. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid (España).

Núñez, P. (2016) Comparativa de software para la realización de ortofotos a partir de imágenes obtenidas por drones. Universidad de Oviedo, Oviedo (España).

Oñate, M. (2013) Mundo de la seguridad : mitos y realidades. Asociación española de RPAS, AERPAS

Oñate, M. (2014a) Tipología de los RPAS. Asociación española de RPAS, AERPAS.

Oñate, M. (2014b) Las aplicaciones de los RPAS en el mundo de la seguridad: mitos y realidades. Asociación española de RPAS, AERPAS

Pereira, J. M. (2013) Modelado 3D En Patrimonio Cultural Por Técnicas de Structure from Motion. Ed. DigitalHeritage, 77–87. Disponible en http://www.iaph.es/phinvestigacion/index.php/phinvestigacion/article/view/12/33#.Vw_d4vmLRD8

Pix4D. (2012) Pix4D Mapper User Manual. Pix4D, Disponible en <https://support.pix4d.com/hc/en-us>.

Quintanilla, I. ; Yuste, P. ; Gil Donat, J. ; Vila, J. A. ; Viñes, J. A. (2015) Normativa actual y futura de Aeronaves no Tripuladas a nivel internacional , europeo y nacional. Universidad Politécnica de Valencia, 32–36, Valencia (España).



Rodríguez , M. (2016) Desarrollo de herramientas de visualización de gráficos 3D en dispositivos de realidad virtual. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid (España).

Rodríguez Miranda, A ; Pérez Vidiella, P ; Martínez Lázaro, R ; Valle Melón, J. M. (2015) Reutilización de pares fotogramétricos de elementos arquitectónicos para la obtención de modelos 3D y ortofotografías a partir de técnicas SFM. Arqueología de la Arquitectura, 2015. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3989/arq.arqt.2015.004>.

Ruiz, J. J. (2013) Generación de mapas 3D a partir de imágenes aéreas. Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, Sevilla (España).

Torres, D. R. (2013) La realidad aumentada y su aplicación en el patrimonio cultural. Ed. Trea, Gijón (España).

Uceda, S. (2014) Uso de la Realidad Aumentada para facilitar la lectura e interpretación de planos. Trabajo Fin de Grado en Geomática y Topografía. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz (España). Disponible en: <https://addi.ehu.es/handle/10810/13618>

Vercger Plana, J. J. (2013) Los monasterios de la Reconquista en la provincia de Valencia: Monestir de Sta. María de la Valldigna, Monestir de St. Jeroni de Cotalba y Monestir de Sta. María de la Murta: análisis comparativo de sus claustros. Universidad de Valencia, Valencia (España).



Parte II: ANEXOS





A



Valoración económica





La valoración económica de este proyecto consiste en la determinación del coste total de la elaboración de los productos obtenidos producidos durante todo el desarrollo práctico del trabajo.

El trabajo de planificación, toma de datos, modelado, edición y análisis ha sido realizado por un graduado en Ingeniería en Geomática y Topografía.

Todos los costes de recursos humanos se han reflejado por día, en base a una jornada ordinaria de 8 horas al día. Además, se ha decidido establecer un 14% de beneficio empresarial y un 21% por I.V.A según la ley vigente.

Tabla 13. Distribución de las horas.

Tareas	Días	Horas
Trabajo de campo	2	16
Trabajo con programas:		
Pix4D	1	8
Meshlab	1	8
Unity 3D con Vuforia SDK	1	8
Obtención de resultados	2	16
Evaluación de resultados	1	8
Redacción de informe	3	24
Total	11	88

Como se ha nombrado anteriormente, el presupuesto se ha realizado teniendo en cuenta las horas que se tardaría en realizar un proyecto similar en una empresa de topografía. No se ha evaluado el coste real de la realización del proyecto final de grado, ya que el propósito de realizar la valoración económica de esta manera es conocer el valor de un trabajo de estas características.



Tabla 14. Costes.

	Unidades	Coste/hora (€)	Horas	Total (€)
COSTES DIRECTOS (CD)				
Mano de Obra ²⁷	1	18,48	88	1626,39
Material Auxiliar ²⁸		0,02	88	1,34
			Total CD	1627,76
		Coste/hora (€)	Horas	Total (€)
COSTES INDIRECTOS (CI) / GASTOS GENERALES (GG)				
Oficina	Gastos material ²⁹	0,50	88	43,76
	Gastos Generales ³⁰	3,94	88	346,50
			Total CI	390,26
COSTES (€) =CD + CI		2017,99		

Tabla 15. Presupuesto.

	Total (€)
Imprevistos ³¹	201,80
Total Costes (Costes + Imprevistos)	2219,79
Beneficio neto industrial ³²	28,25
Total (Precio =Costes + Imprevistos + Beneficios)	2248,04
Total (IVA incluido 21%)³³	270,13

²⁷ Ver Tabla 16. Mano de obra

²⁸ Ver Tabla 20. Material auxiliar

²⁹ Ver Tabla 18. Gastos de material

³⁰ Ver Tabla 19. Gastos generales

³¹ Se estima en 10% de los costes

³² Se estima en un 14% de los costes y los imprevistos

³³ El IVA es el impuesto sobre el Valor Añadido, que corresponde a un 21% del total



Tabla 16. Mano de obra.

Horas trabajadas (h)	
Convenio	1800
Baja	0
No productivas	200
Total (horas)	1600
Partidas cotizadas (PC)	
Salario ³⁴	20417,88
Antigüedad	0,00
Plus Convenio ³⁵	2019,69
Total (€)	22437,57
Partidas no cotizadas (PNC)	
Seguro ³⁶	200,00
Total (€)	200,00
Cotización (CC + ATyEP + (D+F+FP))	
Contingencias Comunes (CC) ³⁷	5295,27
Accidentes y enfermedades profesionales (AT y EP) ³⁸	224,38
Desempleo + Fondo Garantía Salarial + Formación Profesional (D+F+FP) ³⁹	1413,57
Total (€)	6933,21
Coste / Año (PC + PNC + Cotización)	
Total (€)	29570,78
Coste / Hora (Coste / Año / Total horas trabajadas)	
Total (€)	18,48
Coste / día (Coste / Hora * Jornada laboral)	
Total (€)	147,85

³⁴ Ver Tabla 17. Estimación de salario

³⁵ Plus Convenio pactado el XVII Convenio nacional de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos

³⁶ Estimación

³⁷ Contingencias comunes para empresa: 23,60%, así que CC= Tipo (23,60%) * base (Total PC)

³⁸ A.T. y E.P. = Tipo (1% oficina) * base (Total PC)

³⁹ Desempleo empresa 5,50%; Fondo Garantía Salarial 0,20%; Formación Profesional 0,60%. Así que D+F+FP = Tipo (5,50% + 0,20% + 0,60%) * base (Total PC)



La estimación del salario se ha realizado teniendo en cuenta las tablas salariales del XVII Convenio colectivo nacional de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos del 2013⁴⁰ (*Artículo 33. Tablas de niveles salariales*) en el Nivel 1. Licenciados y titulados 2º y 3º ciclo universitario y analista y Nivel 2. Diplomados y titulados 1º ciclo universitario. Jefe Superior. Dado que la titulación no aparece aún como tal en los convenios laborales, se presupone que estará en un punto medio entre los niveles 1 y 2. Como referencia de mínimos, se ha tenido en cuenta el actual salario mínimo interprofesional para 2017 (707,70€/mes o 23,59€/día), fijado en el Real Decreto-ley 3/2016⁴¹.

Tabla 17. Estimación de salario.

		€ / Año	€ / Mes	€ / Día	€ / Hora
Convenio colectivo nacional de empresas de Ingeniería y oficinas de estudios técnicos 2013	Nivel 1. Licenciados	23430,82	1673,63	99,28	12,41
	Nivel 2. Diplomados	17404,94	1243,21	73,75	9,22
Salario estimado⁴²	Graduado en Ingeniería en Geomática y Topografía	20417,88	1458,42	86,515	10,81

⁴⁰ XVII Convenio colectivo nacional de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-11199

⁴¹Real Decreto-ley 3/2016. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2016/12/03/pdfs/BOE-A-2016-11475.pdf>

⁴² El salario estimado se ha obtenido realizando una media aritmética entre los niveles 1 y 2, ya que el Grado en Ingeniería Geomática y Topografía actual se sitúa entre ambos.



Los costes asociados al material necesario para el desarrollo de la aplicación han sido cero, ya que ya se disponía de todos los materiales. Sin embargo, se va a presentar el coste que conllevaría si no se dispusiera de ningún tipo de dispositivo ni mobiliario.

Tabla 18. Gastos de material.

Concepto	Precio Compra (€)	Precio Venta (€)	Coef. Lin. Máx ⁴³ (%)	Periodo mín. ⁴⁴	Amortización / Año	Días	€/Día	€/ Hora
PC de sobremesa	1150,00	0,00	25,00	4	287,50	200	1,44	0,18
PC portátil	650,00	0,00	25,00	4	162,50	200	0,81	0,10
Impresora	50,00	0,00	20,00	5	10,00	200	0,05	0,01
Drone Inspire 1	150,00	0,00	33,00	3	49,50	200	0,25	0,03
Smartphone	150,00	0,00	25,00	4	37,50	200	0,19	0,02
Tablet	400,00	0,00	25,00	4	100,00	200	0,50	0,06
Programas ⁴⁵	329,00	0,00	33,00	3	108,57	200	0,54	0,07
Mobiliario	400,00	0,00	10,00	10	40,00	200	0,20	0,03
Total							3,98	0,50

⁴³ Coeficiente lineal máximo en % (Obtenidos de las tablas de Coeficiente de Amortización del Artículo 12. Correcciones de valor: amortizaciones del Real Decreto 27/2014, de la Ley del Impuesto de Sociedades)

⁴⁴ Periodo mínimo (años) = 100 / Coeficiente lineal máximo

⁴⁵ Ver Tabla 21. Licencias de programas



Tabla 19. Gastos generales.

Concepto	€ / Mes	€ / Año	Días	€ / Día	€ / Hora
Alquiler	450,00	4800,00	200	24,00	3,00
Comunidad	30,00	360,00	200	1,80	0,23
Seguro	25,00	300,00	200	1,50	0,19
Teléfono	35,00	420,00	200	2,10	0,26
Electricidad	35,00	420,00	200	2,10	0,26
Total		6300		31,50	3,94

Tabla 20. Material auxiliar.

Concepto	Precio (€) / Unidad	Unidades	Precio Total (€)	Años Amortización	Amortización / Año	
Folios	0,01	40	0,40	1	0,40	
Bolígrafo	2,00	3,00	6,00	1	6,00	
Tinta	40,00	1,00	40,00	2	20,00	
Regla	2,00	1,00	2,00	1	2,00	
					Total (€/Año)	29,00
					Total (€/Día)	0,12
					Total (€/Hora)	0,02



Tabla 21. Licencia de programas.

	€ / Limitada Mensual
Microsoft Office 365	69
Pix4D Mapper Pro	260
MeshLab	0,00
Unity 3D	0,00
Qualcomm Vuforia	0,00
Total (€)	329

Los costes de marketing y publicidad no se han desarrollado porque el objetivo del proyecto es generar un modelo y una aplicación de RA que proporcionar al Monasterio de Santa María de la Valldigna, para que estos se encarguen de dichas tareas. Aunque también se podría tener en cuenta que una empresa emplea sus trabajos para que los visualicen los futuros clientes.





B



Planos

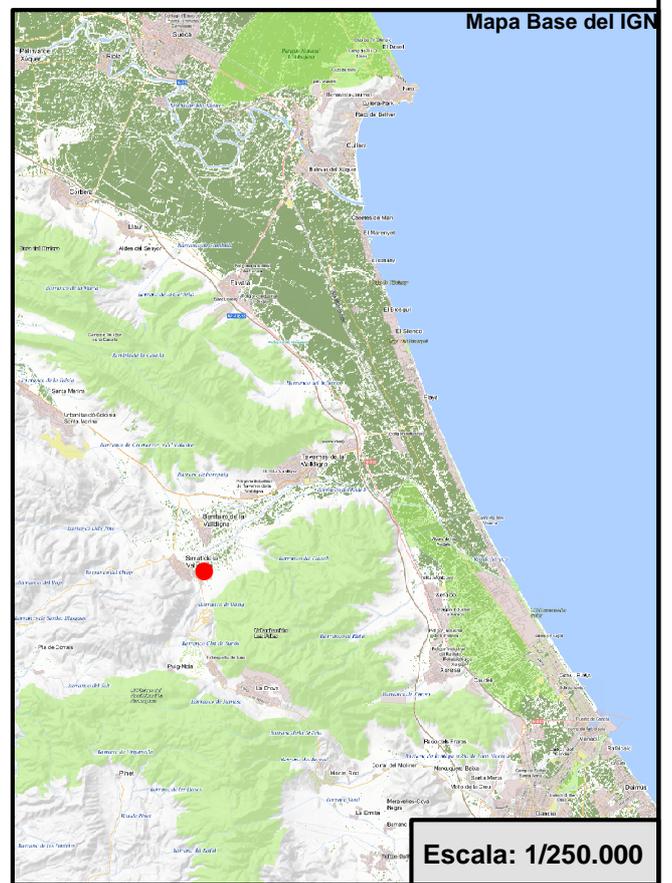
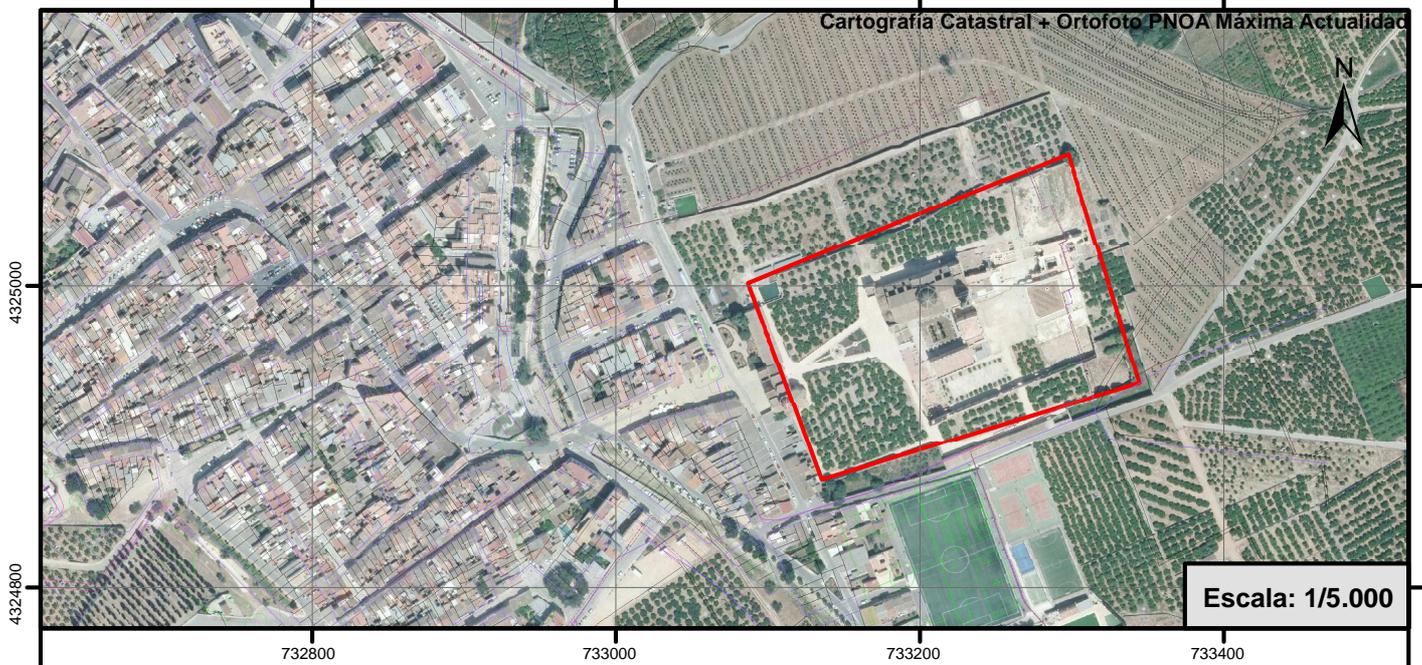




Los planos que se presentan a continuación son:

1. Plano de Situación y Emplazamiento
2. Plano de Zona de Vuelo 1
3. Plano de Zona de Vuelo 2
4. Plano de Zona de Vuelo 3
5. Plano de Zona de Vuelo 4
6. Plano de Zona de Vuelo Manual 1
7. Plano de Zona de Vuelo Manual 2





Fuentes: Infraestructura de Datos Espaciales de España (www.idee.es/) y Sede Electrónica del Catastro (www.catastro.meh.es/)



<i>Fecha:</i> 25/11/16	<i>Autor/Firma:</i> Diana Alonso Aransay	<i>Coordenadas:</i> ETRS89 UTM Zona 30	
<i>Escala:</i>	<i>Plano:</i> Plano de Situación y Emplazamiento	<i>Nº Plano:</i> 01	
<i>Modelización 3D y visualización en Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Valdigna</i>			



732800 733000 733200 733400 733600

Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales de España (www.idee.es/)

Simat de la Vallidigna

LEYENDA

-  Punto de Aterrizaje
-  Punto de Despegue
-  Dirección de Vuelo
-  Curvas de Nivel
-  Zona de Vuelo

Altura	65 m
Dirección	0º
Tiempo	2:31 min
Extensión	5530 m ²
Imágenes	32



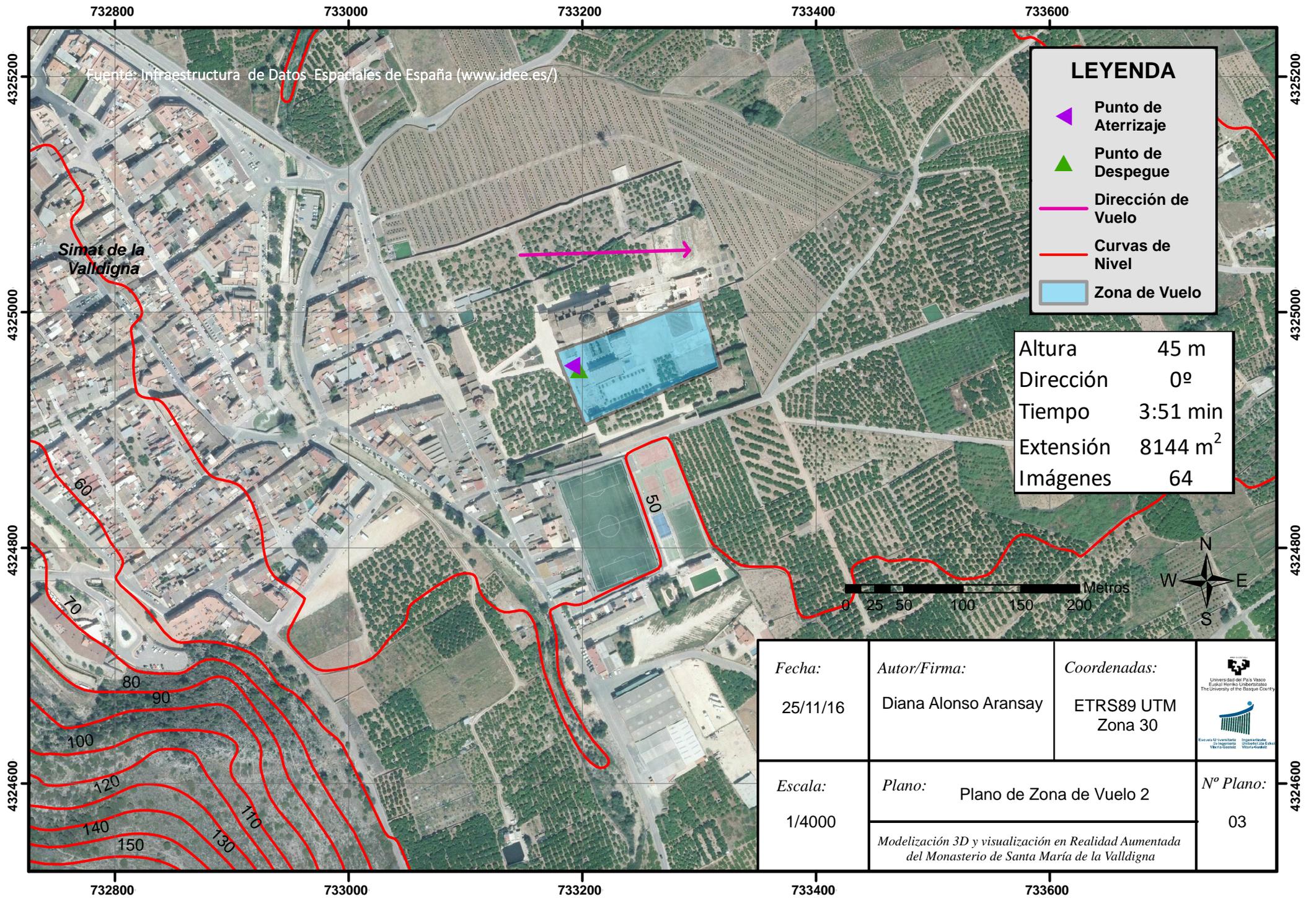
4325200
4325000
4324800
4324600

4325200
4325000
4324800
4324600

<i>Fecha:</i> 25/11/16	<i>Autor/Firma:</i> Diana Alonso Aransay	<i>Coordenadas:</i> ETRS89 UTM Zona 30	
<i>Escala:</i> 1/4000	<i>Plano:</i> Plano de Zona de Vuelo 1 <i>Modelización 3D y visualización en Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Vallidigna</i>		<i>Nº Plano:</i> 02

732800 733000 733200 733400 733600





Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales de España (www.idee.es/)

Simat de la Vallidigna

LEYENDA

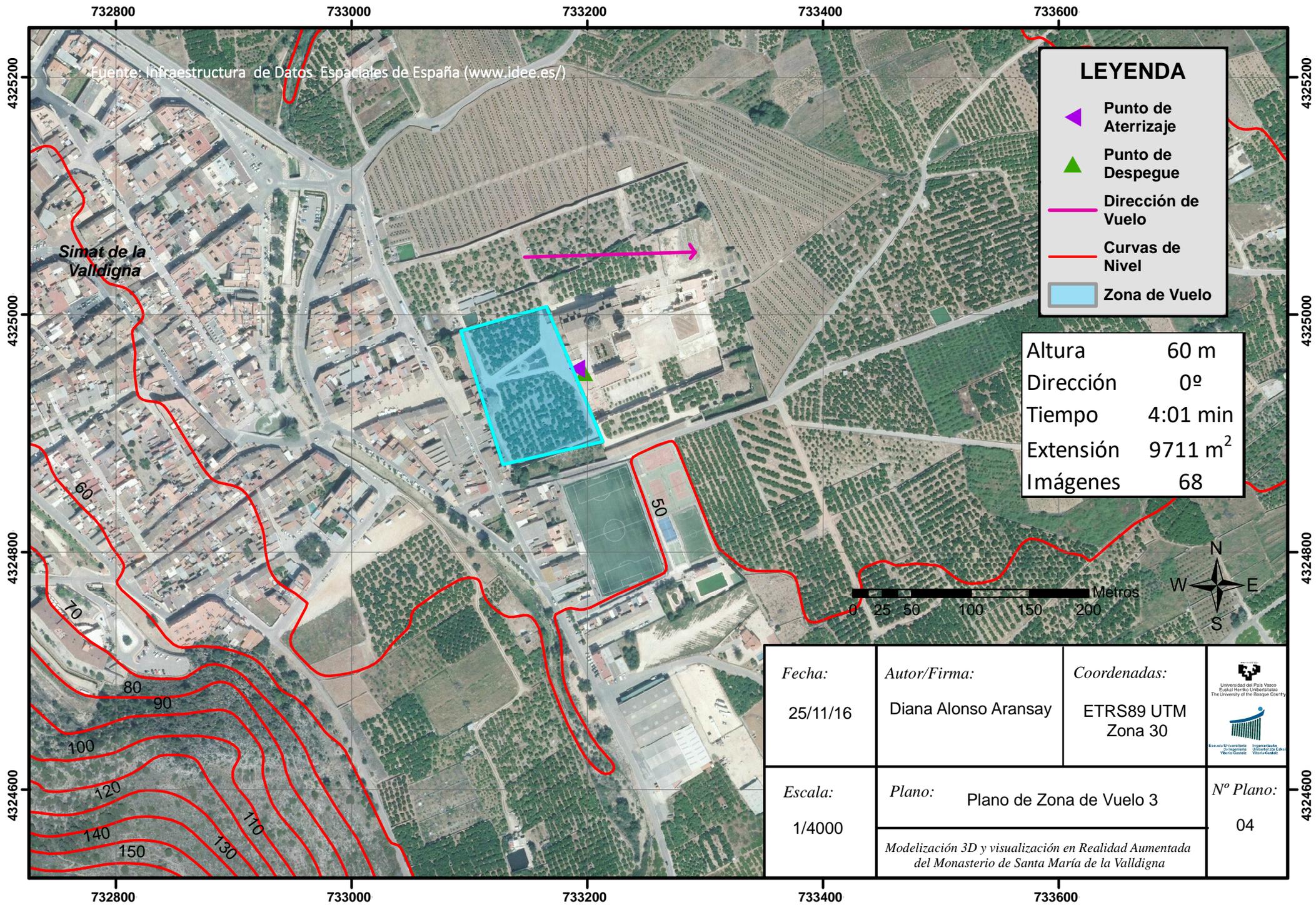
- ▲ Punto de Aterrizaje
- ▲ Punto de Despegue
- Dirección de Vuelo
- Curvas de Nivel
- Zona de Vuelo

Altura	45 m
Dirección	0°
Tiempo	3:51 min
Extensión	8144 m ²
Imágenes	64



<i>Fecha:</i> 25/11/16	<i>Autor/Firma:</i> Diana Alonso Aransay	<i>Coordenadas:</i> ETRS89 UTM Zona 30	
<i>Escala:</i> 1/4000	<i>Plano:</i> Plano de Zona de Vuelo 2	<i>Nº Plano:</i> 03	
<i>Modelización 3D y visualización en Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Vallidigna</i>			





Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales de España (www.idee.es/)

LEYENDA

- ▲ Punto de Aterrizaje
- ▲ Punto de Despegue
- Dirección de Vuelo
- Curvas de Nivel
- Zona de Vuelo

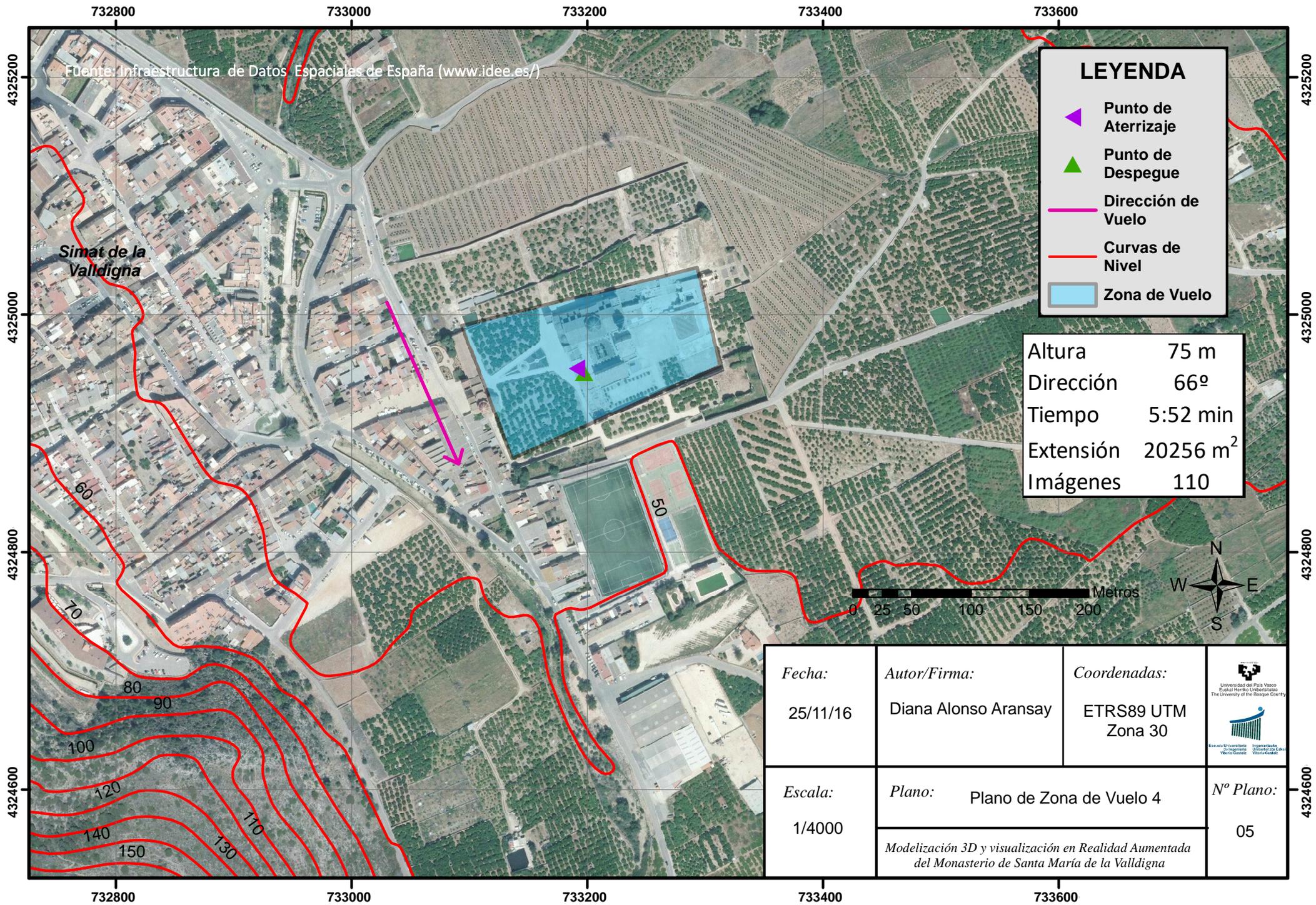
Altura	60 m
Dirección	0°
Tiempo	4:01 min
Extensión	9711 m ²
Imágenes	68



<i>Fecha:</i> 25/11/16	<i>Autor/Firma:</i> Diana Alonso Aransay	<i>Coordenadas:</i> ETRS89 UTM Zona 30	
<i>Escala:</i> 1/4000	<i>Plano:</i> Plano de Zona de Vuelo 3		

Modelización 3D y visualización en Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Valldigna





Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales de España (www.idee.es/)

Simat de la Vallidigna

LEYENDA

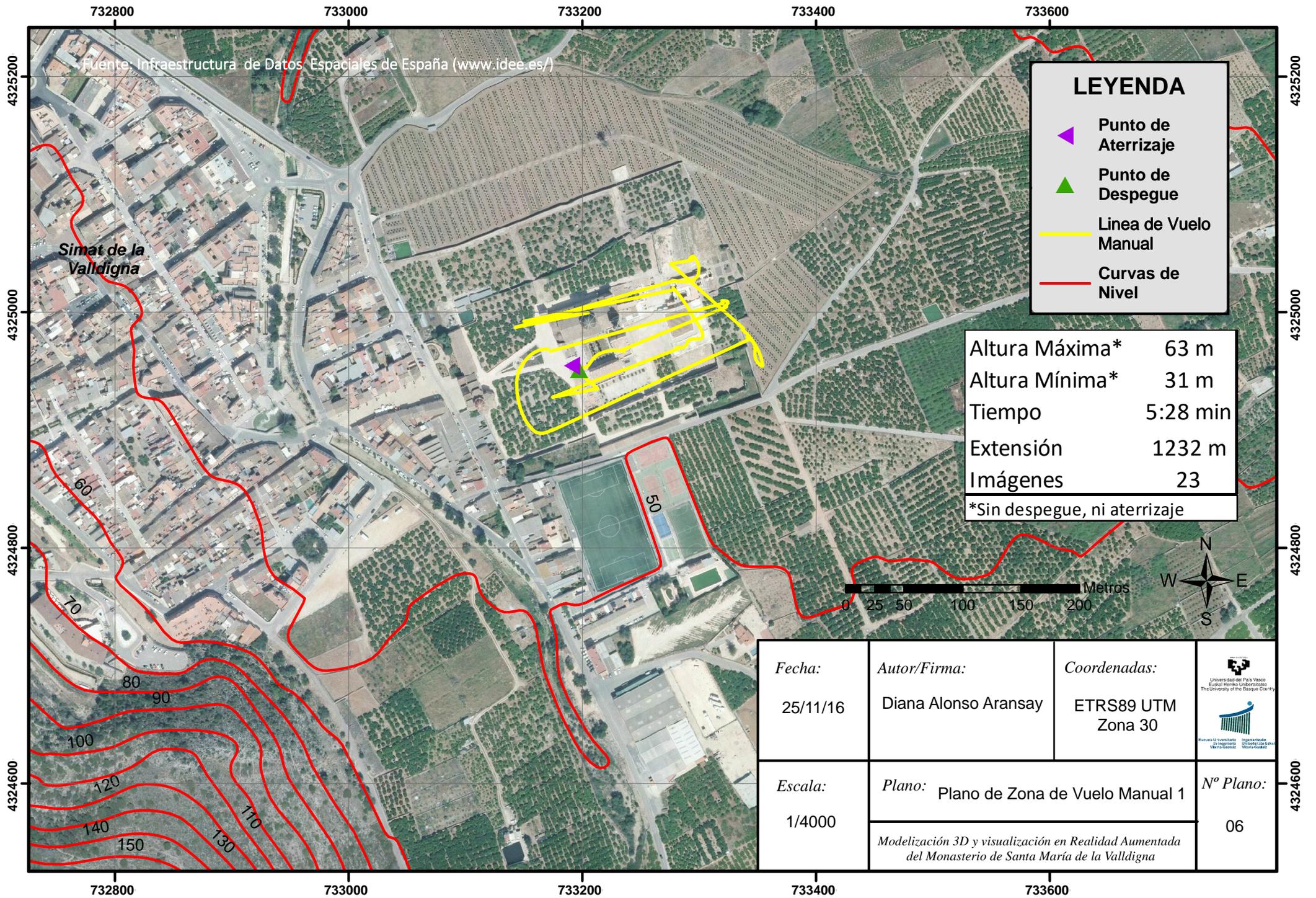
-  Punto de Aterrizaje
-  Punto de Despegue
-  Dirección de Vuelo
-  Curvas de Nivel
-  Zona de Vuelo

Altura	75 m
Dirección	66º
Tiempo	5:52 min
Extensión	20256 m ²
Imágenes	110



<i>Fecha:</i> 25/11/16	<i>Autor/Firma:</i> Diana Alonso Aransay	<i>Coordenadas:</i> ETRS89 UTM Zona 30	
<i>Escala:</i> 1/4000	<i>Plano:</i> Plano de Zona de Vuelo 4	<i>Nº Plano:</i> 05	
<i>Modelización 3D y visualización en Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Vallidigna</i>			





732800 733000 733200 733400 733600

4325200

4325200

Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales de España (www.idee.es/)

LEYENDA

-  Punto de Aterrizaje
-  Punto de Despegue
-  Línea de Vuelo Manual
-  Curvas de Nivel

4325000

4325000

Simat de la Valldigna

Altura Máxima*	63 m
Altura Mínima*	31 m
Tiempo	5:28 min
Extensión	1232 m
Imágenes	23
*Sin despegue, ni aterrizaje	

4324800

4324800



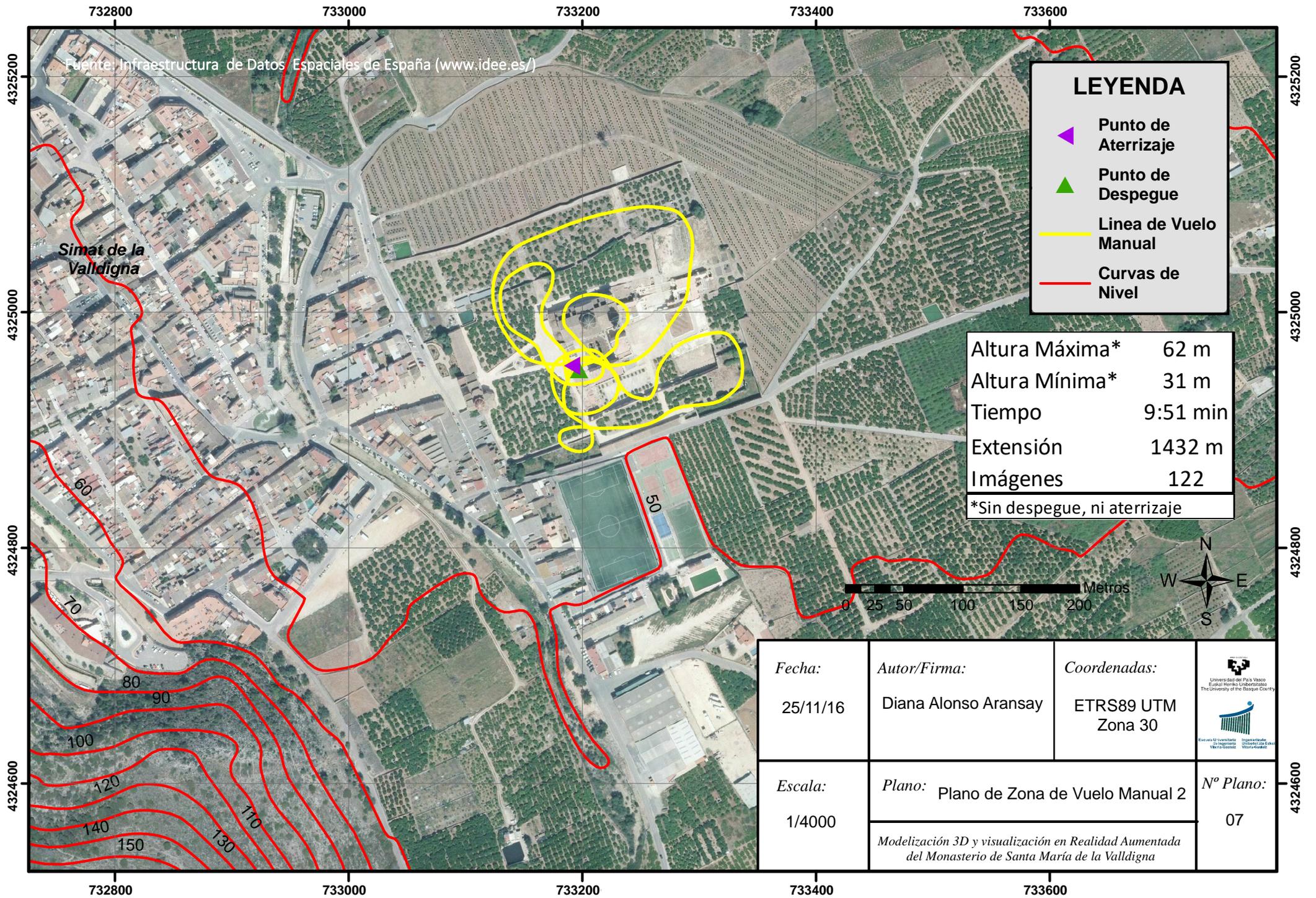
4324600

4324600

<i>Fecha:</i> 25/11/16	<i>Autor/Firma:</i> Diana Alonso Aransay	<i>Coordenadas:</i> ETRS89 UTM Zona 30	
<i>Escala:</i> 1/4000	<i>Plano:</i> Plano de Zona de Vuelo Manual 1		
			<i>Modelización 3D y visualización en Realidad Aumentada del Monasterio de Santa María de la Valldigna</i>

732800 733000 733200 733400 733600









C



Folleto Publicidad



MONASTERIO DE SANTA MARÍA DE LA VALLDIGNA

El Monasterio de Santa María de la Valldigna, fundado en 1298 por el rey Jaime II El Justo es un templo espiritual, histórico y cultural del antiguo reino de Valencia.

En 1991 fue adquirido por la Generalitat Valenciana.

Dentro del recinto se imparten talleres, conciertos, exposiciones y actividades de carácter científico y congresual.

¡VEN A VISITARLO!

CONTACTO:

Pl. de l'Abadía, s/n. 46760

Simat de la Valldigna (Valencia)

Tel. y Fax: +34 962 811 636

**VISUALIZA EL MONASTERIO
EN REALIDAD AUMENTADA
DESCARGANDO LA APP Y
APUNTANDO A LA IMAGEN**

Descarga:







D



Contenido del CD





El CD que acompaña a toda la memoria incluye:

- Parte I: Memoria
- Parte II: Anexos (Valoración Económica, Planos, Folleto Publicitario, Informes de calidad de Pix4D)
- Aplicación de RA para Android (.apk)
- Modelos 3D del monasterio (.p.obj)
- Nube de puntos densificadas del monasterio (.ply, .obj)
- Imagen de textura del monasterio (.jpg)
- Modelo 3D de la puerta (.obj)
- Nube de puntos densificada de la puerta (.obj)
- Imagen de textura de la puerta (.jpg)
- Modelo 3D del monasterio fusionado (.obj)
- Carpeta con fotografías aéreas y terrestres





E



Tiempos de trabajo



A continuación, se muestran las tablas con el tiempo que se ha tardado en desarrollar el proyecto. En la Tabla 22 se muestra el tiempo de las tareas de campo, en la Tabla 23 los tiempos de trabajo con los softwares Pix4D y Unity 3D.

Tabla 22. Tiempos de trabajo en campo.

	Tarea	Tiempo
Trabajo de Campo	Montar Inspire 1	2 min
	Tiempo total de Fotogrametría Aérea	70 min
	Tiempo total de Fotogrametría Terrestre	20 min
	Desmontar Inspire 1	2 min
	Tiempo desplazamiento (Valencia - Simat)	148 min (ida y vuelta)

Tabla 23. Tiempos de trabajo de gabinete

	Tarea	Tiempo	Software
Trabajo de Gabinete	Orientación y nube de puntos menos densa FA	1h 54 min	Pix4D Mapper Pro
	Nube de puntos densificada FA	1 h 20 min	
	Malla con textura FA	27 min	
	Orientación y nube de puntos menos densa FT	16 min	
	Nube de puntos densificada FT	8 min	
	Malla con textura FT	5 min	
	Aplicación RA	3 h 20 min	

Y para finalizar, en la Tabla 24 se muestran los tiempos de redacción de los documentos Parte I y Parte II.



Tabla 24. Planificación temporal.

Planificación Temporal del Proyecto			
Capítulos	Campo (h)	Oficina (h)	Días
Capítulo 1 <i>Introducción y Objetivos</i>		24	3
Capítulo 2 <i>Marco Teórico I: Los Drones</i>		66	8
Capítulo 3 <i>Marco Teórico II: Realidad Aumentada</i>		51	6.4
Capítulo 4 <i>Descripción del Proyecto</i>		90	11.3
Capítulo 5 <i>Desarrollo Práctico del Proyecto</i>	4	290	36.8
Capítulo 6 <i>Valoración económica y conclusiones</i>		4	0.5
Anexos		15	1.9
		TOTAL :	68 Días



F



Informe Pix4D

A continuación, se encuentran los dos informes de los proyectos de modelado realizados con PIX4D: fotogrametría aérea (monasterio) y el de fotogrametría terrestre (puerta).





Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	simat
Processed	2016-10-25 19:13:51
Camera Model Name(s)	FC350_3.6_4000x3000 (RGB), FC350_3.6_4000x2250 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.85 cm / 1.12 in
Time for Initial Processing (without report)	01h:54m:30s

Quality Check



Images	median of 37468 keypoints per image	
Dataset	419 out of 419 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	1.24% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 15999.1 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, no 3D GCP	

Calibration Details



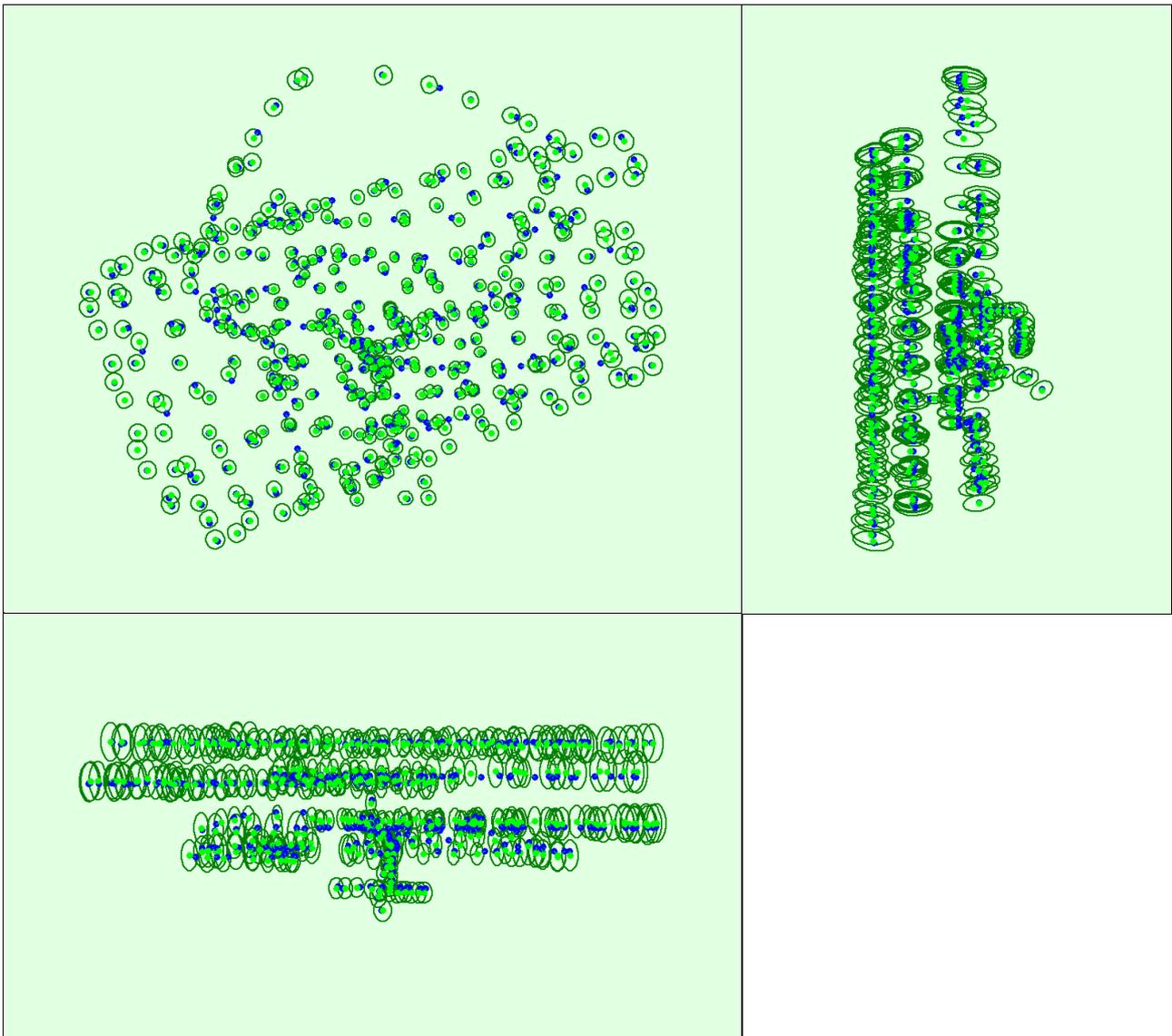
Number of Calibrated Images	419 out of 419
Number of Geolocated Images	419 out of 419

Initial Image Positions



Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 5x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.549	0.567	1.073	0.850	0.657	0.543
Sigma	0.102	0.106	0.236	0.088	0.104	0.345

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	6779217
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2092860
Mean Reprojection Error [pixels]	0.391

Internal Camera Parameters



EXIF ID: FC350_3.6_4000x3000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	2302.347 [pixel] 3.551 [mm]	2000.000 [pixel] 3.085 [mm]	1500.000 [pixel] 2.314 [mm]	-0.130	0.106	-0.016	-0.000	0.000
Optimized Values	2331.117 [pixel] 3.596 [mm]	1981.858 [pixel] 3.057 [mm]	1531.929 [pixel] 2.363 [mm]	-0.131	0.101	-0.011	-0.000	-0.001
Uncertainties (Sigma)	0.459 [pixel] 0.001 [mm]	0.163 [pixel] 0.000 [mm]	0.148 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000

The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel averaged over all images of the camera model is color coded between black and white. White indicates that, in average, more than 16 ATPs are extracted at this pixel location. Black indicates that, in average, 0 ATP has been extracted at this pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the reprojection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.

2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	37468	15999
Min	26031	6125
Max	56991	28550
Mean	37998	16180

2D Keypoints Table for Camera FC350_3.6_4000x3000 (RGB)

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	39452	15429
Min	27552	8232
Max	56991	24149
Mean	40110	15691

Median / 75% / Maximal Number of Matches Between Camera Models

	FC350_3.6_4000x3000 (RGB)	FC350_3.6_4000x2250 (RGB)
FC350_3.6_4000x3000 (RGB)	225 / 741 / 12291	38 / 121 / 3022

3D Points from 2D Keypoint Matches

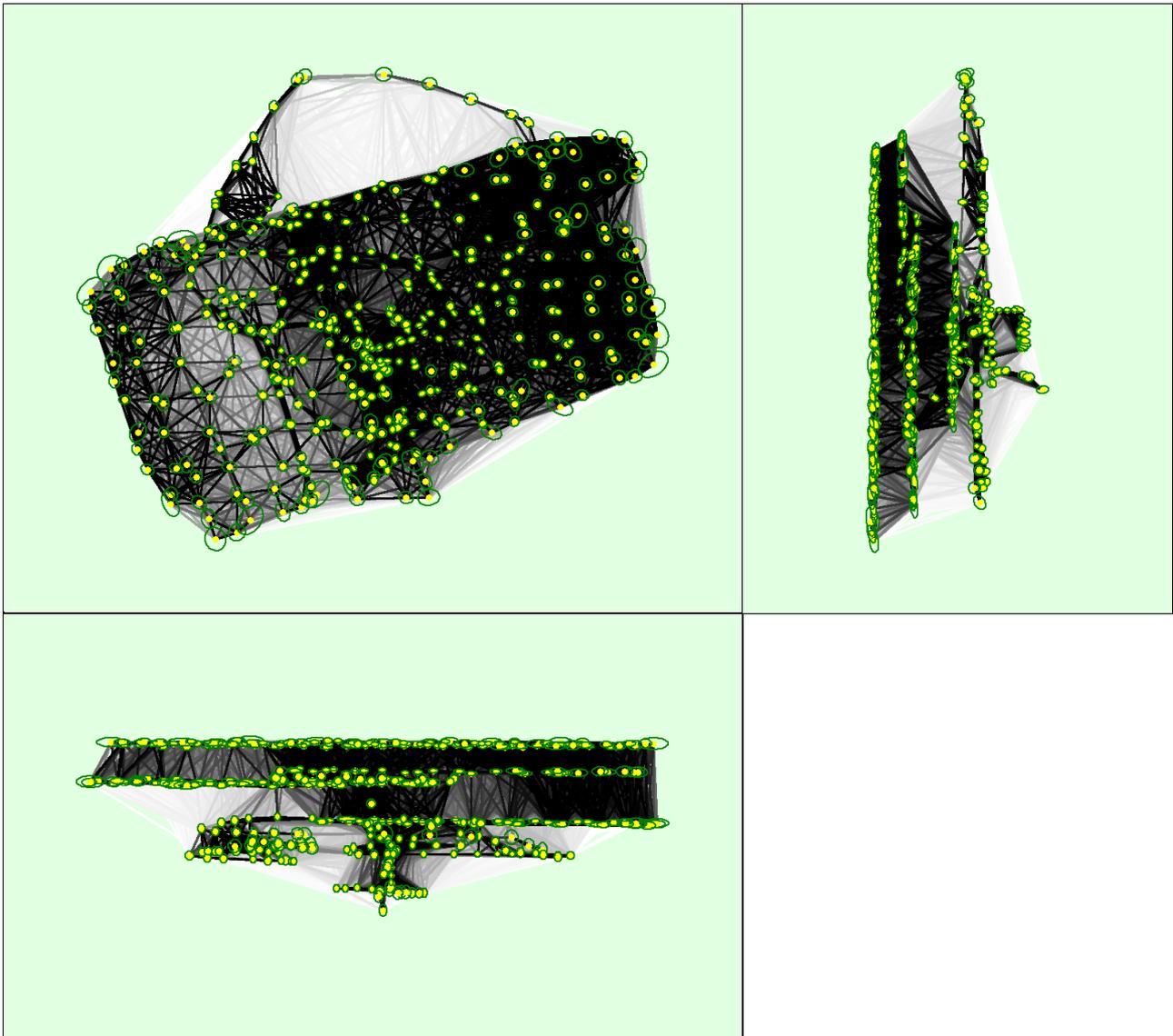


	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1352611
In 3 Images	338891
In 4 Images	140326
In 5 Images	75169
In 6 Images	45661
In 7 Images	29231
In 8 Images	20723
In 9 Images	15417
In 10 Images	11756
In 11 Images	9202
In 12 Images	7665
In 13 Images	6207
In 14 Images	5178
In 15 Images	4153
In 16 Images	3442
In 17 Images	3089
In 18 Images	2493
In 19 Images	2148
In 20 Images	1848
In 21 Images	1651
In 22 Images	1504
In 23 Images	1276
In 24 Images	1140
In 25 Images	1073
In 26 Images	924
In 27 Images	807
In 28 Images	765
In 29 Images	641
In 30 Images	620
In 31 Images	556
In 32 Images	479
In 33 Images	439
In 34 Images	440
In 35 Images	341
In 36 Images	315
In 37 Images	289
In 38 Images	273
In 39 Images	267
In 40 Images	221
In 41 Images	233
In 42 Images	218
In 43 Images	195
In 44 Images	175
In 45 Images	177
In 46 Images	155
In 47 Images	148

In 48 Images	148
In 49 Images	149
In 50 Images	104
In 51 Images	133
In 52 Images	109
In 53 Images	101
In 54 Images	103
In 55 Images	92
In 56 Images	78
In 57 Images	97
In 58 Images	82
In 59 Images	86
In 60 Images	79
In 61 Images	72
In 62 Images	72
In 63 Images	52
In 64 Images	72
In 65 Images	60
In 66 Images	46
In 67 Images	49
In 68 Images	46
In 69 Images	43
In 70 Images	35
In 71 Images	26
In 72 Images	32
In 73 Images	33
In 74 Images	23
In 75 Images	25
In 76 Images	9
In 77 Images	23
In 78 Images	17
In 79 Images	29
In 80 Images	14
In 81 Images	13
In 82 Images	23
In 83 Images	11
In 84 Images	12
In 85 Images	6
In 86 Images	17
In 87 Images	10
In 88 Images	8
In 89 Images	13
In 90 Images	14
In 91 Images	6
In 92 Images	5
In 93 Images	4
In 94 Images	6
In 95 Images	1
In 96 Images	3
In 97 Images	3
In 98 Images	3
In 99 Images	6
In 100 Images	1
In 101 Images	1
In 102 Images	2
In 103 Images	1
In 104 Images	3
In 105 Images	1
In 106 Images	3

In 109 Images	2
In 110 Images	1
In 111 Images	2
In 112 Images	2
In 113 Images	1
In 114 Images	1
In 119 Images	1
In 121 Images	1
In 136 Images	1
In 140 Images	1

2D Keypoint Matches



Uncertainty ellipses 100x magnified

Number of matches

25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.021	0.020	0.013	0.022	0.019	0.015
Sigma	0.009	0.009	0.005	0.009	0.008	0.011

Geolocation Details



Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	4.53	2.63	0.72
-3.00	0.00	44.39	43.68	45.58
0.00	3.00	47.97	52.51	53.46
3.00	6.00	3.10	1.19	0.24
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.000000	-0.000000	0.000000
Sigma [m]		1.501628	1.155016	1.431800
RMS Error [m]		1.501628	1.155016	1.431800

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	98.57	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	4.070
Phi	2.503
Kappa	7.138

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-5820K CPU @ 3.30GHz RAM: 16GB GPU: NMDIA GeForce GTX 970 (Driver: 21.21.13.6909)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	ETRS89 (egm96)
Output Coordinate System	ETRS89 / UTM zone 30N (egm96)

Processing Options



Detected Template	Modelos 3D
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: High Resolution Color Balancing: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Matching Window Size	9x9 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:19m:31s
Time for 3D Textured Mesh Generation	26m:36s

Results



Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	19533145
Average Density (per m ³)	191.84

DSM, Orthomosaic and Index Details



Processing Options



DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.85 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for Orthomosaic Generation	01h:32m:23s

Quality Report



Generated with Pix4Ddiscovery version 3.0.13



Important: Click on the different icons for:



Help to analyze the results in the Quality Report



Additional information about the sections



Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary



Project	puerta2
Processed	2016-11-15 09:47:39
Camera Model Name(s)	iPhone6s iPhone6sbackcamera4.15mmf/2.2_4.2_4032x3024 (RGB), iPhone6 iPhone6backcamera4.15mmf/2.2_4.2_3264x2448 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.41 cm / 0.16 in
Time for Initial Processing (without report)	15m:28s

Quality Check



Images	median of 20987 keypoints per image	
Dataset	41 out of 41 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	2.71% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 6193.25 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, no 3D GCP	

Calibration Details



Number of Calibrated Images	41 out of 41
Number of Geolocated Images	41 out of 41



Initial Image Positions



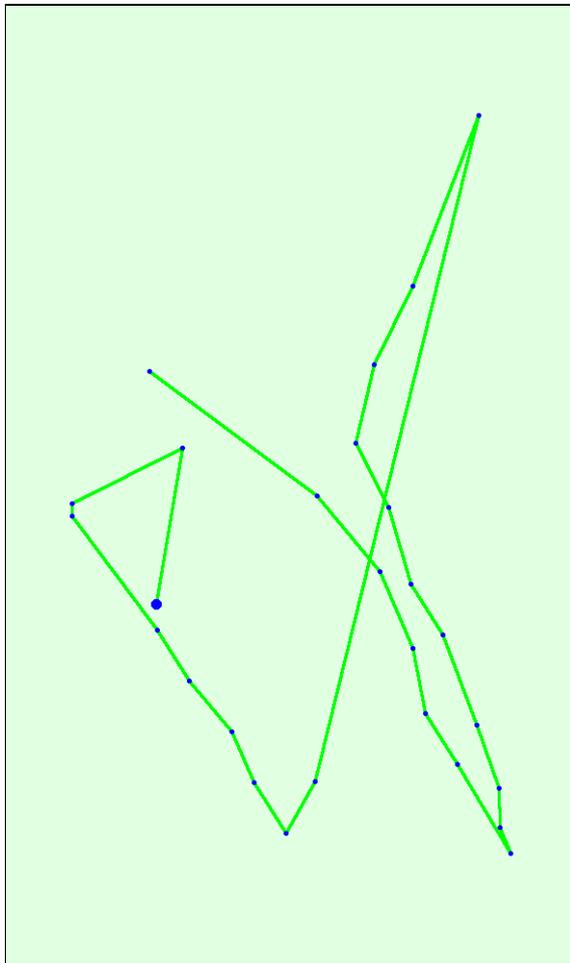


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

 Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



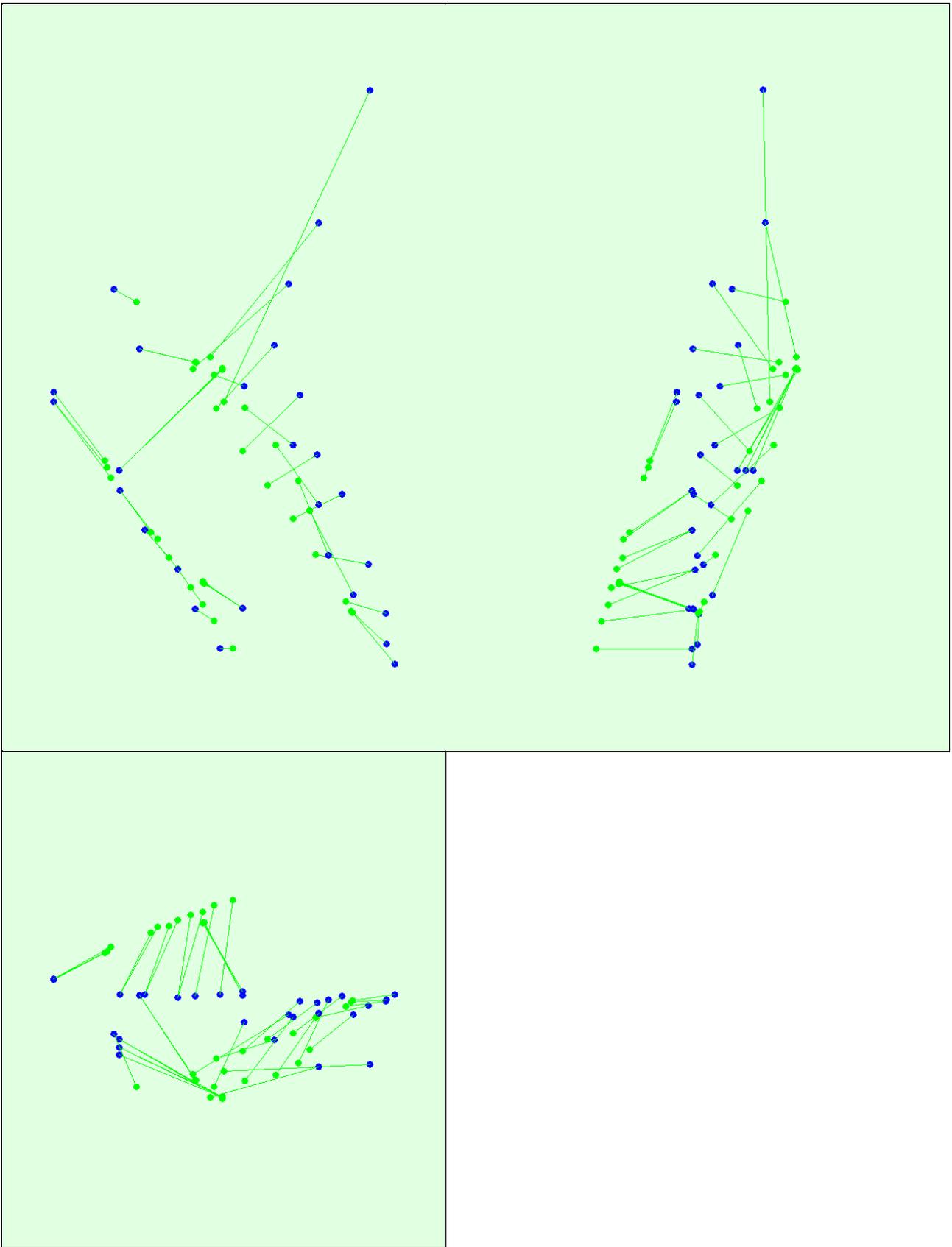


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	271812
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	93631

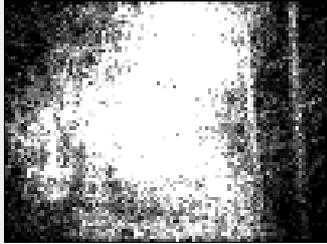
Mean Reprojection Error [pixels]	0.360
----------------------------------	-------

Internal Camera Parameters

iPhone6s_iPhone6sbackcamera4.15mmf/2.2_4.2_4032x3024 (RGB). Sensor Dimensions: 5.009 [mm] x 3.756 [mm]

EXIF ID: iPhone6s_iPhone6sbackcamera4.15mmf/2.2_4.2_4032x3024

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3340.801 [pixel] 4.150 [mm]	2016.000 [pixel] 2.504 [mm]	1512.001 [pixel] 1.878 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized Values	3417.622 [pixel] 4.245 [mm]	1997.207 [pixel] 2.481 [mm]	1470.746 [pixel] 1.827 [mm]	0.065	-0.020	-0.128	-0.004	-0.001



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel averaged over all images of the camera model is color coded between black and white. White indicates that, in average, more than 16 ATPs are extracted at this pixel location. Black indicates that, in average, 0 ATP has been extracted at this pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the reprojection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.

2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	20987	6193
Mn	16656	1483
Max	29037	12408
Mean	20196	6630

2D Keypoints Table for Camera iPhone6s_iPhone6sbackcamera4.15mmf/2.2_4.2_4032x3024 (RGB)

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	21312	7339
Mn	20098	4247
Max	29037	12408
Mean	21702	7373

Median / 75% / Maximal Number of Matches Between Camera Models

	iPhone6s_iPhone...(RGB)	iPhone6_iPhone6...(RGB)
iPhone6s_iPhone6sbackcamera4.15mmf/2.2_4.2_4032x3024 (RGB)	651 / 1686 / 7811	526 / 1123 / 2211

3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	62855
In 3 Images	14356
In 4 Images	6008
In 5 Images	3263
In 6 Images	1999
In 7 Images	1359
In 8 Images	987
In 9 Images	706
In 10 Images	492
In 11 Images	399
In 12 Images	290
In 13 Images	204
In 14 Images	174
In 15 Images	163
In 16 Images	116
In 17 Images	95
In 18 Images	59
In 19 Images	61
In 20 Images	29
In 21 Images	16

2D Keypoint Matches



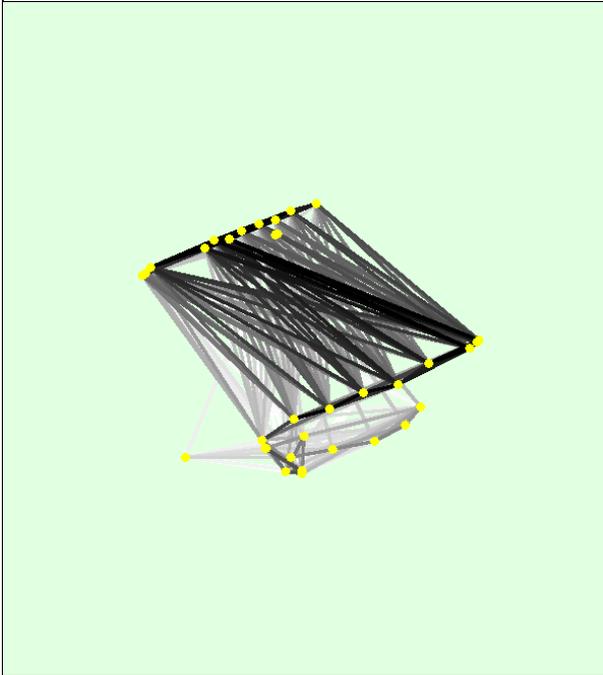
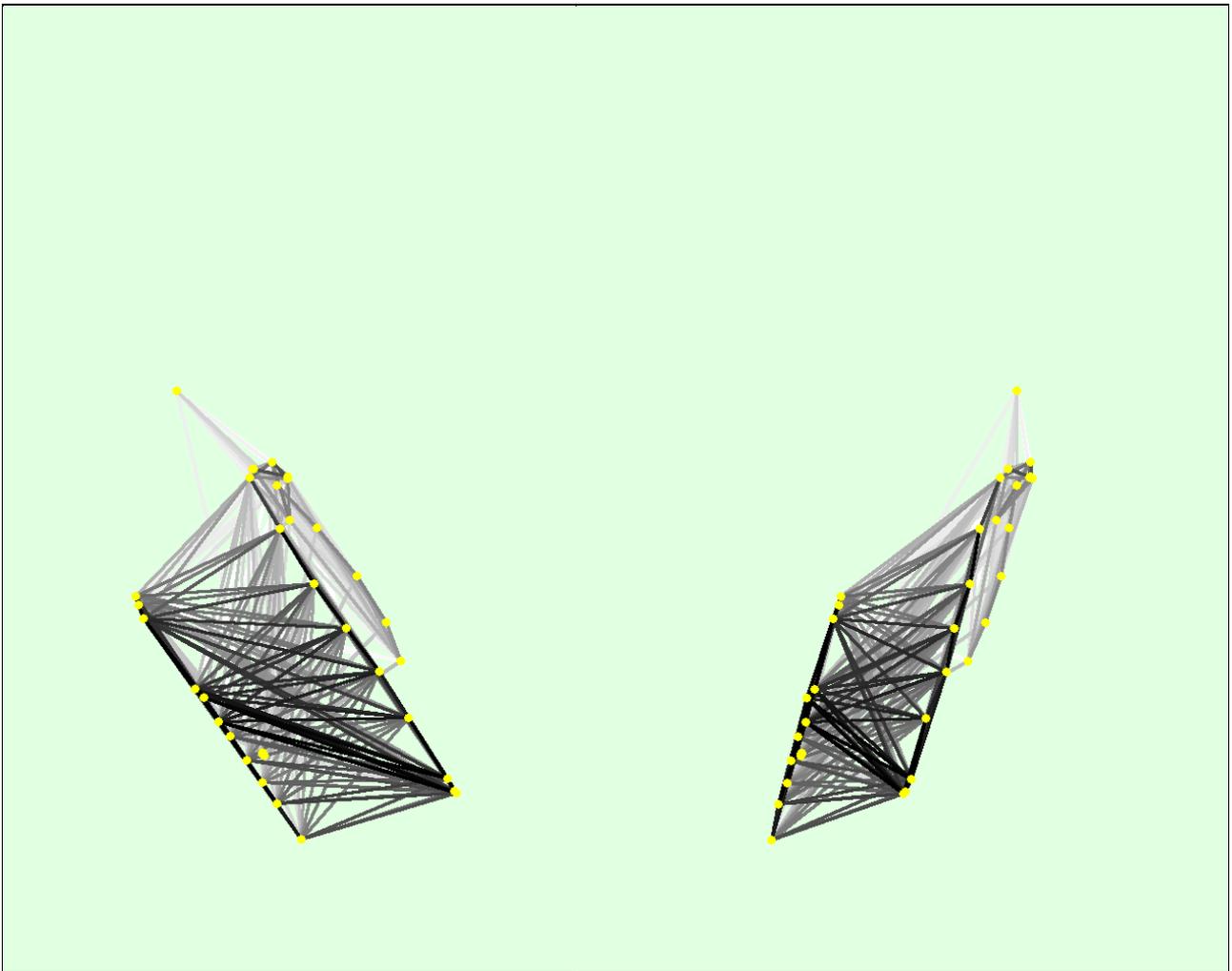


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

🔍 Absolute Geolocation Variance



Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	14.63	14.63	0.00
-3.00	0.00	34.15	36.59	39.02
0.00	3.00	46.34	43.90	60.98
3.00	6.00	4.88	2.44	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	2.44	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.014862	0.047475	0.007964
Sigma [m]		1.898811	2.348583	1.774408
RMS Error [m]		1.898869	2.349063	1.774425

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

🔍 Relative Geolocation Variance



Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	97.56	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z

Initial Processing Details



System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i5-4460 CPU @ 3.20GHz RAM: 4GB GPU: Intel(R) HD Graphics 4600 (Driver: 20.19.15.4531)
Operating System	Windows 10 Enterprise, 64-bit

Coordinate Systems



Image Coordinate System	ETRS89 (egm96)
Output Coordinate System	ETRS89 / UTM zone 30N (egm96)

Processing Options



Detected Template	Mdelos 3D
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic

Advanced: Calibration

Calibration Method: Standard
Internal Parameters Optimization: All
External Parameters Optimization: All
Rematch: Auto, yes
Bundle Adjustment: Classic

Point Cloud Densification details



Processing Options



Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Matching Window Size	9x9 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	yes
Time for Point Cloud Densification	07m:49s
Time for 3D Textured Mesh Generation	04m:15s

Results



Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	2110215
Average Density (per m ³)	34661.8





LABORATORIO DE DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL PATRIMONIO
Grupo de Investigación en Patrimonio Construido -GPAC- (UPV-EHU)



UPV EHU

Aulario de las Nieves, edificio de Institutos Universitarios
C/ Nieves Cano 33, 01006 Vitoria-Gasteiz (España-Spain).
Tfno: +34 945 013222 / 013264
e-mail: ldgp@ehu.es web: <http://www.ldgp.es>
