



UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA
CENTRO UNIVERSITARIO DE MÉRIDA
GRADO EN INGENIERÍA EN GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

**COMPROBACIÓN DE TÉCNICAS DE MODELADO 3D
BASADAS EN IMÁGENES DIGITALES**

Autora: Rocío Bermúdez Martínez

Directora: María Eugenia Polo García

Mérida, 3 de septiembre 2015

Este proyecto está dedicado con especial cariño a todas las personas que directa e indirectamente han contribuido a que lograrse conseguir esta meta que me propuse en la vida.

Agradecer a Doña María Eugenia Polo García por su labor desempeñada como tutora, por tanta disponibilidad, dedicación y por tanto esfuerzo dedicado para hacer posible que este proyecto se haya llevado a cabo.

Dar las gracias a mi familia, a mi padre que aunque no se encuentre entre nosotros, sé que estaría muy orgulloso de verme conseguir mi objetivo, a mi madre, mis hermanos y mi hermana que siempre me han sabido inyectar moral en mis peores momentos y que han hecho siempre posible sacar lo mejor de mí.

A Óscar Arroyo por tener siempre unas palabras de ánimo hacia mí, por sacarme una sonrisa en los momentos difíciles y por tantas cosas que no se pueden expresar en unas líneas.

Aprovechar estas líneas para también hacer una mención especial a mis compañeros de carrera Rocío Luna, Javier García e Inmaculada Machado, por acompañarme en esta difícil andadura, con ellos el camino se ha hecho mucho más ameno y gracias también por tanta ayuda prestada hacia mí, sin vosotros este trabajo no hubiese sido posible.

Índice

1. ANTECEDENTES	7
2. OBJETIVOS.....	7
3. MATERIAL UTILIZADO Y OBJETO DE ESTUDIO	8
3.1 CÁMARA.....	8
3.2 SOFTWARE.....	8
3.3 HARDWARE.....	9
3.4 OBJETOS DE ESTUDIO	10
4. METODOLOGÍA.....	14
4.1 TOMA DE FOTOS	14
4.2 PROCESADO DE IMÁGENES	20
4.2.1 Agisoft PhotoScan.....	20
4.2.2 123D Catch de Autodesk.....	26
5. RESULTADOS	32
5.1 TOMA DE FOTOS.....	32
5.2 PROCESADO DE IMÁGENES	37
5.2.1 Agisoft PhotoScan.....	37
5.2.2 123D Catch de Autodesk.....	43
6. COMPARATIVA	50
6.1 FORMATOS	51
6.1.1 Agisoft PhotoScan.....	51
6.1.2 123D Catch.....	51
6.2 EXACTITUD MÉTRICA	52
6.3 MALLAS	53
6.4 BONDAD DEL MODELADO.....	54
6.6 RESULTADOS DE SALIDA	55
7. CONCLUSIONES	62
8. AGRADECIMIENTOS.....	62
9. BIBLIOGRAFÍA.....	63

Índice de Figuras

FIGURA 1: ESCENA DEL TEATRO ROMANO DE MÉRIDA.....	10
FIGURA 2 : GRADERÍO DEL ANFITEATRO ROMANO DE MÉRIDA.	11
FIGURA 3 : ESCULTURA DE MARGARITA XIRGU.....	11
FIGURA 4: FUENTE.	12
FIGURA 5: CAPITEL.	12
FIGURA 6: COLUMNA DEL PERISTILO.	13
FIGURA 7: PUERTA DE ACCESO A LA <i>ORCHESTRA</i>	13
FIGURA 8: ESTELA FUNERARIA DE LOS COLUMBARIOS.....	14
FIGURA 9: TOMA FOTOGRÁFICA DE LA ESCENA DEL TEATRO ROMANO.....	16
FIGURA 10: TOMA FOTOGRÁFICA DEL GRADERÍO DEL ANFITEATRO.	16
FIGURA 11: TOMA FOTOGRÁFICA DE LA ESCULTURA DE MARGARITA XIRGU	17
FIGURA 12: TOMA FOTOGRÁFICA DE LA FUENTE.	17
FIGURA 13: TOMA FOTOGRÁFICA DEL CAPITEL.	18
FIGURA 14: TOMA FOTOGRÁFICA DE LA COLUMNA DEL PERISTILO.	18
FIGURA 15: TOMA FOTOGRÁFICA DE PUERTA DE ACCESO A LA <i>ORCHESTRA</i>	19
FIGURA 16: TOMA FOTOGRÁFICA DE LA ESTELA FUNERARIA DE LOS COLUMBARIOS.....	19
FIGURA 17: FLUJO DE TRABAJO: AÑADIR FOTOS.	21
FIGURA 18: FLUJO DE TRABAJO: ORIENTAR FOTOS.....	21
FIGURA 19: PUNTOS COMUNES Y ALINEACIÓN DE IMÁGENES.	22
FIGURA 20: FLUJO DE TRABAJO: CREAR MALLA.	23
FIGURA 21: FLUJO DE TRABAJO: CREAR TEXTURAS.	23
FIGURA 22: CERRAR AGUJEROS CON PHOTOSCAN.	24
FIGURA 23: SELECCIÓN RECTANGULAR.	24
FIGURA 24: SELECCIÓN CIRCULAR.	25
FIGURA 25: SELECCIÓN DE FORMATO LIBRE.	25
FIGURA 26: CREACIÓN DE MÁSCARAS CON AGISOFT PHTOSCAN.....	26
FIGURA 27: CREATE NEW CAPTURE.....	27
FIGURA 28: SELECCIÓN DE FOTOGRAFÍAS EN 123D CATCH.....	27
FIGURA 29: CREACIÓN DEL PROYECTO EN 123D CATCH.....	28
FIGURA 30: CAMPOS OBLIGATORIOS A RELLENAR PARA CREAR UN PROYECTO EN 123D CATCH.....	28
FIGURA 31: RECREACIÓN EN 3D E IMÁGENES MOSTRADAS DE LA COLUMNA EN 123D CATCH.....	29
FIGURA 32: LIMPIEZA DEL PROYECTO EN 123D CATCH.	30
FIGURA 33: EXPORTAR VÍDEO CON ANIMACIONES DE LOS MODELOS 3D DE FORMA LOCAL EN 123D CATCH.....	31
FIGURA 34 : EXPORTAR VÍDEOS CON ANIMACIONES DE LOS MODELOS 3D A YOUTUBE CON 123D CATCH.	31

FIGURA 35: OPCIONES PARA EXPORTAR A YOUTUBE DESDE 123D CATCH.	31
FIGURA 36: SERIE DE INSTANTÁNEAS DEL TEATRO ROMANO.	33
FIGURA 37: SERIE DE INSTANTÁNEAS REALIZADAS AL ANFITEATRO.	33
FIGURA 38: SERIE DE INSTANTÁNEAS REALIZADAS A LA FIGURA DE MARGARITA XIRGU.	34
FIGURA 39: SERIE DE INSTANTÁNEAS REALIZADAS AL OBJETO DENOMINADO "FUENTE"	34
FIGURA 40: SERIE DE INSTANTÁNEAS REALIZADAS AL CAPITEL.	35
FIGURA 41: SERIE DE INSTANTÁNEAS REALIZADAS A LA COLUMNA DEL PERISTILO.	35
FIGURA 42: DISTRIBUCIÓN DE FOTOS DEL OBJETO "PUERTA" CON AGISOFT PHOTOSCAN.	36
FIGURA 43: DISTRIBUCIÓN DE FOTOS DEL OBJETO "PUERTA" CON 123D CATCH.	36
FIGURA 44: SERIE DE INSTANTÁNEAS REALIZADAS A LA ESTELA DE LOS COLUMBARIOS.	37
FIGURA 45: MODELO DE LA ESCENA DEL TEATRO ROMANO OBTENIDA MEDIANTE AGISOFT PHOTOSCAN.	38
FIGURA 46 : MODELO DEL ANFITEATRO OBTENIDO MEDIANTE AGISOFT PHOTOSCAN.	38
FIGURA 47: MODELO DE LA ESTATUA DE MARGARITA XIRGU OBTENIDA MEDIANTE AGISOFT PHOTOSCAN.	39
FIGURA 48: PERSPECTIVA DEL OBJETO DENOMINADO "FUENTE" E IMAGEN MÁS DETALLADA.	40
FIGURA 49: PERSPECTIVA DEL CAPITEL SEGÚN AGISOFT PHOTOSCAN.	41
FIGURA 50: MODELO DE LA COLUMNA DEL PERISTILO OBTENIDA MEDIANTE AGISOFT PHOTOSCAN.	41
FIGURA 51: MODELO DE LA PUERTA DE ACCESO A LA <i>ORCHESTRA</i> RECONSTRUIDA CON AGISOFT PHOTOSCAN.	42
FIGURA 52: MODELO DE LA ESTELA FUNERARIA OBTENIDA MEDIANTE AGISOFT PHOTOSCAN.	42
FIGURA 53: MODELO DE LA ESCENA DEL TEATRO ROMANO SEGÚN 123D CATCH.	43
FIGURA 54: MODELO DEL ANFITEATRO SEGÚN 123D CATCH.	44
FIGURA 55: MODELO DE LA ESTATUA DE MARGARITA XIRGU RECONSTRUIDA CON 123D CATCH.	45
FIGURA 56: PERSPECTIVA Y PARTE SUPERIOR DE FUENTE SEGÚN 123D CATCH.	46
FIGURA 57: MODELO 3D DEL CAPITEL CREADO CON 123D CATCH.	46
FIGURA 58: MODELO 3D DE COLUMNA CREADO CON 123D CATCH.	47
FIGURA 59: PERSPECTIVA Y PROFUNDIDAD DE LA PUERTA CREADOS CON 123D CATCH.	48
FIGURA 60: MODELO DE LA ESTELA FUNERARIA DE LOS COLUMBARIOS SEGÚN 123D CATCH.	49
FIGURA 61: DIFERENTES TEXTURAS OBTENIDAS DE ESTELA, FUENTE Y TEATRO ROMANO POR 123D CATCH.	52
FIGURA 62: MALLA DE LA ESTELA FUNERARIA OBTENIDA CON PHOTOSCAN (IZQUIERDA) Y 123D CATCH (DERECHA).	54
FIGURA 63: ESTADÍSTICAS DE LA MALLA EN AGISOFT PHOTOSCAN.	54
FIGURA 64: PARÁMETROS DE LA CÁMARA CON AGISOFT PHOTOSCAN.	55
FIGURA 65. RECONSTRUCCIÓN DEL TEATRO ROMANO.	56
FIGURA 66. RECONSTRUCCIÓN DEL ANFITEATRO.	56
FIGURA 67. RECONSTRUCCIÓN DE LA ESCULTURA DE MARGARITA XIRGU.	57
FIGURA 68. RECONSTRUCCIÓN DE LA FUENTE.	58
FIGURA 69. RECONSTRUCCIÓN DEL CAPITEL.	59
FIGURA 70. RECONSTRUCCIÓN DE LA COLUMNA DEL PERISTILO.	59
FIGURA 71. RECONSTRUCCIÓN DE LA PUERTA DE ACCESO A LA <i>ORCHESTRA</i>	60
FIGURA 72. RECONSTRUCCIÓN DE LA ESTELA FUNERARIA.	61

Resumen

La generación de modelos tridimensionales de objetos o escenas ha sufrido una revolución importante en los últimos años. Se destacan dos opciones para generar modelos 3D: escáner 3D y sistemas de modelado basados en imágenes (IBM, Image-Based Modeling). La primera opción ofrece una calidad métrica y visual alta, a costa de un instrumental generalmente caro y de necesitar un usuario experto. La segunda opción se presenta como una alternativa más económica, en cuanto al instrumental usado, con un alto grado de automatización del proceso y sin la necesidad de tener un usuario especialmente experto.

Se han desarrollado diferentes aplicaciones (gratuitas y comerciales) que permiten crear modelos 3D a partir de imágenes digitales, donde se resuelve la reconstrucción del modelo fotografiado en lo que se llama el proceso fotogramétrico.

El objetivo de este trabajo es comparar dos de estas aplicaciones: Agisoft PhotoScan (software comercial de escritorio) y 123D Catch de Autodesk (software gratuito basado en web), estudiando las ventajas e inconvenientes de ambas aplicaciones. Como objeto de estudio se han fotografiado diferentes elementos arquitectónicos y decorativos del recinto del Teatro Romano de Mérida y de Los Columbarios.

Palabras claves

Modelo 3D, modelado basado en imágenes, proceso fotogramétrico, patrimonio cultural

Abstract

The generation of three-dimensional models of objects or scenes has undergone a major revolution in recent years. Two options stand to generate 3D models: 3D scanning and modeling systems based on images. The first option provides high visual quality metric and, with expensive instruments and usually require an expert user. The second option is presented as a more economical alternative in terms of instrumentation with a high degree of automation of the process without the need of an expert user.

Different applications have been developed (free and commercial) for creating 3D models from digital images, where the reconstruction of the photographed model is resolved in the so-called photogrammetric process.

The aim of this study is to compare two such applications: Agisoft PhotoScan (commercial desktop software) and Autodesk 123D Catch (free web-based software), studying the advantages and disadvantages of both applications. The object of study has been different architectural and decorative elements of the enclosure of the Roman Theatre of Merida and The Columbarios area.

Keywords

3D Model, image-based modeling, photogrammetry process, cultural heritage

1. Antecedentes

Las tecnologías de escaneo en tres dimensiones (3D) han tenido un desarrollo significativo en los últimos años y son ampliamente utilizadas en la documentación y análisis de todo tipo de objetos. Recientemente hemos asistido a un auge en el desarrollo, tanto de técnicas y algoritmos como de instrumental, que posibilitan la generación de modelos 3D de objetos o escenas. Las aplicaciones son diversas englobando el patrimonio cultural [1], los bosques [2] o la arquitectura [3], entre otras muchas. Además podemos encontrar en el mercado una amplia gama de escáneres con diferentes prestaciones y precios.

El caso concreto del inventariado y estudio de piezas arqueológicas se beneficia del desarrollo de estas técnicas, al disponer, el usuario experto o el público en general, de modelos 3D de objetos arqueológicos, sin que estos sufran riesgo de daños por contacto directo.

Como desventaja, destacar que si deseamos una alta calidad métrica y visual, el coste de estos instrumentos es, generalmente, alto y puede estar fuera del alcance de muchos operadores en materia de patrimonio cultural. Además es necesario un procesamiento posterior de los datos, y por tanto, un usuario experto.

Actualmente se está planteando la aplicación de nuevas tecnologías de obtención y análisis de modelos tridimensionales, frente a los ya establecidos sistemas de escaneo 3D. Estas tecnologías se refieren a los sistemas de modelado basados en imágenes (IBM, Image Based-Modeling) que constituyen una alternativa al escaneo 3D que es necesario evaluar en calidad y precio [4, 5]. Existen en el mercado diversas soluciones tanto gratuitas como comerciales, con resultados satisfactorios para muchas aplicaciones [6-8].

Los sistemas IBM crean un modelo 3D de un objeto o escena a partir de un conjunto de imágenes digitales solapadas realizadas cubriendo todo el objeto a representar. Se extraen los elementos invariables de imágenes consecutivas y se resuelve la geometría del objeto de forma conjunta. Estas imágenes se orientan automáticamente en un sistema de coordenadas arbitrario, usando una serie de algoritmos que determinan los parámetros de la cámara y generan una nube de puntos densa a la que se le añaden posteriormente la textura, lo que supone un avance en el proceso fotogramétrico [9, 10].

En cuanto a la difusión del patrimonio cultural, comentar que se está experimentando un cambio importante en la forma de divulgar este tipo de información. Tradicionalmente se tenía una concepción estática del mismo, lo que obligaba a desplazarse al lugar donde se ubicaban los objetos para su estudio. Actualmente las opciones que brindan Internet y las redes sociales, permiten que esta generación de modelos tridimensionales se pueda difundir y manipular sin restricciones geográficas.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es valorar dos opciones concretas de sistemas de modelado basado en imágenes: 123D Catch de Autodesk (aplicación gratuita basada en web), y Agisoft PhotoScan (software comercial de escritorio) aplicadas a objetos arqueológicos de diferentes tamaños. Utilizaremos un conjunto de fotografías digitales de elementos arqueológicos, siguiendo las pautas indicadas en cada herramienta, para generar los respectivos modelos 3D, evaluando ventajas e inconvenientes.

Procederemos a realizar un protocolo de eficiencia de los mismos atendiendo a diferentes criterios como: algoritmos utilizados, tipo de objeto, tipo de toma fotográfica, formatos obtenidos, resultados de salida y postproceso de resultados.

3. Material utilizado y objeto de estudio

3.1 Cámara

La toma de datos se ha realizado con una cámara digital NIKON D40¹ de 6.1 Mpx, de resolución y tamaño del sensor de 23.7 mm x 15.6 mm. El objetivo usado es NIKKON AF-S DX ED de distancia focal 18-55 mm.

3.2 Software

Para el procesamiento de las fotografías y posterior modelado, se han empleado dos aplicaciones diferentes: Agisoft PhotoScan y 123D Catch de Autodesk. Además se usaron otros programas como Irfanview y Meshlab para el tratamiento de las fotos y el análisis de los modelos 3D, respectivamente. Se describen brevemente dichas aplicaciones:

- **Agisoft PhotoScan²**. PhotoScan es un producto de software comercial de la empresa rusa Agisoft LLC, lanzado en 2010, que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D. Es una aplicación de escritorio, por lo que utiliza los recursos de nuestro ordenador para hacer el procesamiento. Tiene dos ediciones, una estándar y otra profesional, y una versión educativa para las dos ediciones mencionadas. Además es posible descargarse una versión demo de un mes de duración. La versión estándar permite realizar el flujo de trabajo que se explica en los apartados siguientes para generar modelos 3D. La versión profesional, además, permite georreferenciar y exportar DEM, medir distancias, áreas y volúmenes, marcar puntos de control y procesar redes, entre otras opciones.

A fecha de septiembre de 2015 el precio para la edición estándar es de 158.37 euros y para la profesional 3108.32 euros. La licencia educativa tiene un coste de 52.20 euros para la versión estándar y de 119.96 euros para la profesional. Estos precios llevan a considerar a Agisoft PhotoScan como un software de modelado 3D de bajo coste.

Este software puede ser utilizado en aplicaciones de SIG, documentación de patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diferentes escalas.

- **123D Catch de Autodesk³**. Es una aplicación gratuita basada en web que permite crear modelos 3D de casi cualquier objeto con una restricción de no poder procesar más de 70 fotografías al mismo tiempo. Se realiza un procesamiento de datos de forma prácticamente automática, por lo que no es necesario que el usuario tenga conocimientos previos en la

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Nikon_D40

² <http://www.agisoft.com/>

³ <http://www.123dapp.com/catch>

generación de modelos 3D. A la hora de exportar el modelo se puede realizar mediante YouTube o a través de una imagen, teniendo un carácter de integración en redes sociales. Permite mejorar los resultados de la escena reconstruida uniendo los puntos homólogos en imágenes adyacentes y reenviando el modelo al servicio. Aunque es una aplicación gratuita para usos no comerciales, existe una versión comercial con prestaciones de difusión añadidas.

Autodesk 123D⁴ es una suite de aplicaciones de CAD y modelado 3D gratuitas creadas por AutoDesk. Engloba herramientas como 123D Design, 123D Circuits, 123D Make y 123D Catch, entre otras.

- **Irfanview**⁵. Antes de utilizar las aplicaciones anteriores, se le aplicó a las fotografías un ajuste de color y la transformación del formato RAW a JPG. Para ello se usó Irfanview, visor de imágenes gratuito para editar y convertir archivos de imágenes.
- **Meshlab**⁶. Es un software de código abierto, portátil y sistema extensible para el procesamiento y la edición de mallas triangulares no estructuradas en 3D desarrollado por el Visual Computing Lab, el cual es parte del Institute of the National Research Council of Italy en Pisa . El sistema está destinado a ayudar a la transformación de los modelos no estructurados obtenidos en la digitalización en 3D, y proporciona un conjunto de herramientas para la edición, la limpieza, la inspección, la representación y la conversión de este tipo de mallas. Mediante este software se ha exportado la imagen final del modelo 3D.

3.3 Hardware

Para el desarrollo de nuestro proyecto se han empleado 2 PCs diferentes, dados los problemas encontrados con el procesamiento de modelos con gran número de imágenes:

- PC SONY VAIO para la realización de los modelos 3D mediante el software de 123D Catch de Autodesk. Las características son:
 - Sistema Operativo: Windows 7 ultimate 32 bits (6,1; compilacion 7601)
 - Modelo de Sistema: VGN –FW21L
 - Procesador: INTEL® Core™ 2 Duo CPU T5800, 2GHz
 - Memoria RAM: 3072 MB
- PC HP, para la realización de los modelos mediante Agisoft PhotoScan, con las siguientes características:
 - Sistema Operativo: Windows 7 ultimate 64 bits
 - Modelo de Sistema: HP Elite 7300 Serie MT
 - Procesador: INTEL® Core™ I5-2400 CPU @ 3,10 GHz
 - Memoria RAM: 4024 MB

⁴ <http://www.123dapp.com/create>

⁵ <http://www.irfanview.com/>

⁶ <http://meshlab.sourceforge.net/>

3.4 Objetos de estudio

Dada la cercanía y lo emblemático del recinto, se decidió crear y estudiar modelos 3D de elementos del Teatro Romano de Mérida. Previamente, se solicitó permiso al Consorcio de la Ciudad Monumental, que facilitó un pase de entrada gratuita en los recintos dependientes del Consorcio durante el curso académico, para la realización de las fotografías. También se adjunta un modelo de una estela funeraria del recinto de Los Columbarios, próximo a la Casa del Mitrreo. En total se tomaron 8 elementos de diferentes tamaños, (7 del recinto del Teatro y 1 de Los Columbarios) que permitían fotografiarse fácilmente por todas partes, los más pequeños, o que suponían un reto por su dimensión, como la escena del Teatro o el graderío del Anfiteatro.

Los objetos fotografiados para su posterior modelado en 3D han sido los siguientes:

- **Escena del Teatro Romano.** La escena es el lugar de la representación teatral. Presenta un frente escénico con una fachada formada por dos pisos de columnas corintias con basamento, arquivoltas y cornisas de mármol. Todo el conjunto se divide en tres cuerpos, con tres puertas de acceso a la escena, la puerta central denominada *valva regia*, más amplia que las dos laterales, denominadas *valvas hospitalia*. Entre las columnas se colocaron esculturas decorativas, representaciones de dioses, tales como Ceres, que preside la puerta central de la escena y otras personalidades, cuyos originales están ahora en el Museo Nacional de Arte Romano de Mérida.

El Teatro originalmente tuvo un aforo de entre 5500 a 6000 espectadores. Este escenario posee una acústica excelente, lo cual permite que el sonido sea uniforme por todo el graderío. Se tomaron 107 fotografías de la escena del Teatro. Este objeto pertenece a la clase de objetos grandes, ya que hemos tenido que realizar numerosas fotografías para cubrir todo el escenario.



Figura 1: Escena del Teatro Romano de Mérida.

- **Graderío del Anfiteatro.** El graderío es el espacio reservado para los espectadores. Se divide en zonas o *caveas*: *ima*, *media* y *summa cavea*, que de la misma forma que en el Teatro, reproducían en gran medida las distintas escalas jerárquicas de la sociedad romana. Al graderío se accedía a través de pasillos abovedados o *vomitarios*, dicho acceso se podía realizar mediante 16 puertas.

Las habitaciones o *carceles*, se localizan en los extremos del eje mayor del recinto (norte y sur del Anfiteatro). Se trata de estancias abovedadas donde se ubicaban los gladiadores antes de salir al combate. Se han realizado un conjunto de 52 fotografías con respecto a la perspectiva de las graderías y habitaciones o *carceles*, situadas en el extremo norte del eje mayor del Anfiteatro.



Figura 2 : Graderío del Anfiteatro romano de Mérida.

- **Escultura de Margarita Xirgu.** Esta estatua está dedicada a la actriz Margarita Xirgu, nacida en 1888 y que fue una de las mejores actrices trágicas del teatro universal del siglo XX. Su actuación en el Teatro Romano de Mérida en el año 1933 dando vida a Medea, marca el origen del Festival Internacional de Teatro Clásico. La escultura está colocada en uno de los pasillos de acceso al escenario del Teatro, erguida sobre un pedestal de granito de 50 centímetros. La estatua de Margarita Xirgu, que esboza un gesto del personaje de Medea, está realizada en bronce. Para esta escultura hemos empleado un total de 40 imágenes para rodearla completamente.



Figura 3 : Escultura de Margarita Xirgu.

- **Fuente.** El objeto que hemos designado con el nombre de fuente lo podemos encontrar en el Peristilo, que es una zona ajardinada situada detrás de la escena del Teatro, que se utilizaba como zona de esparcimiento. Sus dimensiones son pequeñas, cuenta con una figura redonda de mármol en la parte central, y alrededor tenemos un cuadrado de mármol que rodea dicha figura. Entre la figura y el cuadrado podemos observar una

pequeña porción de tierra. El número de fotografías que hemos empleado para esta figura ha sido solamente de 28, debido a sus pequeñas dimensiones.



Figura 4: Fuente.

- **Capitel.** Este capitel lo podemos observar en la zona norte del Teatro, junto a los jardines de entrada al recinto. Es un objeto de dimensiones medianas, compuesto por una base lisa de piedra que sostiene las volutas del capitel, su borde superior se compone de hojas de perfil curvo, en las que se señala el nervio central por medio de una fina incisión longitudinal. Las hojas de las coronas muestran profundas cavidades, mediante las cuales percibimos una sensación de rigidez y estrechamiento. Para este monumento hemos realizado un conjunto de 55 fotografías.



Figura 5: Capitel.

- **Columna del Peristilo.** Esta columna la encontramos en la zona del Peristilo. La base de la columna se compone de piedra, es redondeada y en ella podemos encontrar pequeños orificios que hacen que sea lisa. Sobre ella se apoya una pieza de piedra de una forma cuadrada, la textura es la misma que la de la base. Para el posterior modelado se han tomado un total de 52 imágenes.



Figura 6: Columna del Peristilo.

- **Puerta.** El objeto que hemos designado con el nombre de “Puerta” se encuentra en la parte posterior al graderío del Teatro romano y permite el acceso a la *orchestra* que es un espacio semicircular donde se situaba el coro. Esta puerta está situada enfrente de la denominada Columna del Peristilo. Para el total recubrimiento del objeto se han empleado un total de 25 fotografías.



Figura 7: Puerta de acceso a la *orchestra*.

- **Estela Funeraria de Los Columbarios.** Este objeto lo podemos encontrar dentro del recinto de Los Columbarios, próximo a la llamada Casa del Mitreo, la cual se encuentra situada en la falda meridional del cerro de San Albín. La estela es un objeto de pequeñas dimensiones, de forma redondeada y está formado principalmente por granito, donde

podemos observar unas inscripciones. Se han realizado un total de 27 fotografías, pues al ser un objeto pequeño, han sido suficientes.



Figura 8: Estela funeraria de Los Columbarios.

4. Metodología

Diferenciamos en nuestro trabajo dos fases, la toma de fotos y el procesado de las mismas.

4.1 Toma de fotos

Esta fase ha constado básicamente de la realización de la toma de fotografías. Para ello fue necesario emplear varios días. Las fechas en las que se procedió a la realización de las fotografías fueron el 11 de marzo y el 15 de abril de 2015. El primer día de toma de imágenes se consideró de aprendizaje y “prueba y error”, debido en parte a las condiciones de sol, y sólo fueron útiles la serie de fotos denominadas “Puerta”.

El día 15 de abril se repitió todo el proceso de realización de imágenes anteriormente mencionado. En este día sí tuvimos unas condiciones meteorológicas adecuadas, con un día nublado y sin excesiva luz solar. Se realizaron todas las fotografías a los objetos que anteriormente no se habían obtenido correctamente.

Las fotografías se tomaron en formato NEF (Nikon Electronic Format), que es el formato RAW de NIKON. Esta forma de captura toma la información lumínica de la escena completamente, sin pérdidas de información por compresión, y los metadatos de la imagen (ajustes de la cámara e identificación, objetivo usados, sensor...) en los ficheros Exif (Exchangeable image file format). Posteriormente se generaron las imágenes en formato JPEG mediante el visor Irfanview.

En función de las advertencias habituales para la toma de fotografías y de nuestra propia experiencia, se recomienda tener especial cuidado con los siguientes aspectos:

- Condiciones meteorológicas desfavorables. Para que el resultado de nuestro trabajo fuese óptimo, necesitamos unas condiciones meteorológicas específicas, las cuales no tuvimos el primer día. Estas condiciones suponen un día nublado en el que no hubiese mucha luz, ya que al realizar las fotografías con mucha claridad o con sol, las sombras del objeto se proyectarían sobre el terreno, y al realizar el modelado de dicho objeto, aparecerían estas sombras.
- Realización incorrecta en el proceso de obtención de las fotografías. Para la realización de imágenes se han de tener en cuenta una serie de parámetros, como un ángulo de toma de fotografía correcto. Otro factor a tener en cuenta es que se deben realizar las fotografías muy cerca del objeto, con un buen solape entre imágenes consecutivas (mínimo del 60%) para que al procesarlas, podamos obtener un buen recubrimiento y un modelado correcto. En la toma de imágenes debemos intentar que los objetos que se muestren alrededor sean los mínimos posibles para que el tiempo de procesamiento y depuración de los modelos sea el menor posible.
- Se ha de tener en cuenta que a mayor número de fotografías mayor tiempo de procesamiento y el hardware que necesitaremos deberá tener unas buenas características para que se pueda procesar a una resolución alta.
- Debemos utilizar una cámara digital con resolución razonable (5Mpx o más). Es necesario que evitemos utilizar lentes de ojo de pez, para ello es mejor emplear una focal fija. En el caso de usar zoom, la distancia focal debe estar al máximo o al mínimo.
- La sensibilidad ISO de la cámara debe emplearse al mínimo valor. Esta sensibilidad nos marca la cantidad de luz que necesita nuestra cámara para hacer una fotografía.
- La velocidad de obturación, que nos indica cuánto tiempo permanece abierto el obturador de nuestra cámara, no debe ser muy rápida.
- Debemos evitar objetos sin textura, brillantes, espejos o transparentes y en movimiento y usar la cámara sin flash.

El tipo de objeto fotografiado para posteriormente ser estudiado ha sido de carácter arquitectónico de origen romano. Se han empleado objetos de diferentes tamaños, desde el objeto de tamaño pequeño, mediano y grandes dimensiones.

De tamaño pequeño, podemos catalogar objetos tales como la fuente y la estela funeraria fotografiada en Los Columbarios.

Objetos como la escultura de Margarita Xirgu, el capitel, la columna de Peristilo, y la puerta de acceso a la *Orchestra*, las englobamos en el grupo de tamaño mediano.

Como objetos de grandes dimensiones se han fotografiado el graderío del Anfiteatro y la escena completa del Teatro Romano.

Para la toma fotográfica, definiremos el encuadre, toma y plano.

Encuadre. Resultado de colocar la cámara en la posición precisa, según una perspectiva y una posición concretas, para seleccionar de todo el escenario la parte que va a aparecer en la pantalla, o cuadro. Existen dos tipos de encuadres, el vertical y el encuadre horizontal.

Toma. Fragmento de película (varios fotogramas) que corre en la cámara, entre la puesta en marcha y su detención. Cada una de las veces que se ejecuta un mismo plano.

Plano. Fragmento de película comprendido entre dos cambios de encuadre (encuadre más toma). Se considera el lugar que ocupa el objeto a fotografiar.

Ángulo. Es la posición de la cámara frente al objeto a fotografiar. Existen 5 tipos de ángulos: normal, picado, cenital, contrapicado y nadir.

Se han empleado diferentes planos, encuadres y tomas fotográficas que detallaremos en cada una de las figuras estudiadas.

- **Escena del Teatro Romano.** Los planos que se han empleado han sido planos generales en los que aparecen una parte importante de la escena, este plano es el plano más lejano del que podemos obtener una fotografía. El ángulo de toma que se ha empleado ha sido el ángulo normal, el cual es el más habitual y se caracteriza por establecer una línea paralela al suelo entre la cámara y el objeto fotografiado. Se ha empleado un encuadre horizontal para realizar las imágenes de la toma fotográfica. A través de la siguiente imagen podemos apreciar dicha toma fotográfica.

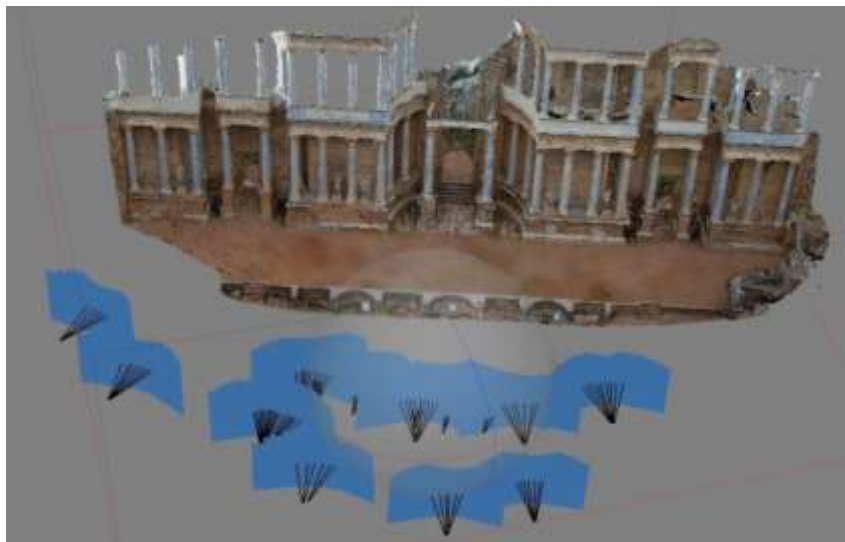


Figura 9: Toma fotográfica de la escena del Teatro Romano.

- **Anfiteatro.** Para el Anfiteatro, al igual que en el caso anterior se ha empleado un plano general, con un ángulo de toma normal, en el cual la posición de la cámara es de 90º respecto al suelo. Por otra parte también se ha empleado el plano medio para dos detalles de las paredes situadas a la izquierda y derecha del arco central, este plano recoge los detalles minuciosos de dichas paredes.



Figura 10: Toma fotográfica del graderío del Anfiteatro.

- **Escultura de Margarita Xirgu.** La toma de fotografías de esta estatua, se ha realizado mediante planos generales, y las imágenes más cercanas que rodean la figura mediante primeros planos,

este plano se corresponde con una distancia mínima, para apreciar el máximo detalle de la figura. El ángulo de toma empleado ha sido el ángulo normal. Para la realización de las imágenes se ha utilizado un encuadre horizontal, ya que nos brinda un mayor campo de acción en la toma fotográfica.



Figura 11: Toma fotográfica de la escultura de Margarita Xirgu

- Fuente.** A través de planos generales y plano detalle, el cual ilustra los detalles más minuciosos de la figura, se ha realizado la toma de fotografías de este objeto. Para ello se ha empleado el ángulo normal y ángulo cenital o picado extremo, mediante dicho ángulo la cámara se sitúa respecto al suelo con una máxima superioridad, hasta el punto de situarse en la perpendicular al suelo por encima del objeto fotografiado. El tipo de encuadre que se ha utilizado ha sido el encuadre horizontal. A continuación se muestra una imagen con las fotografías realizadas.

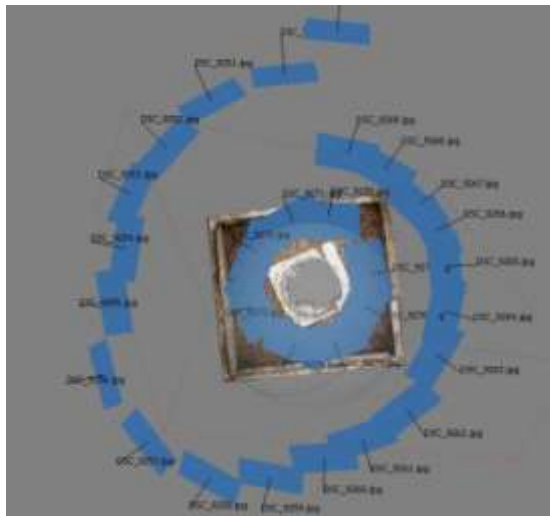


Figura 12: Toma fotográfica de la Fuente.

- Capitel.** Mediante planos generales se ha bordeado la figura, y a través de primeros planos se ha realizado la parte superior del objeto. Se han empleado diferentes tipos de ángulos tales como, ángulo normal para tomar un gran campo de visión del objeto. También se ha empleado el ángulo cenital o picado extremo, mediante el cual nos encontramos en una posición de extrema superioridad respecto al objeto, prácticamente se encuentra en una perpendicular respecto del suelo y sobre el objeto. El encuadre que se ha utilizado ha sido el horizontal.

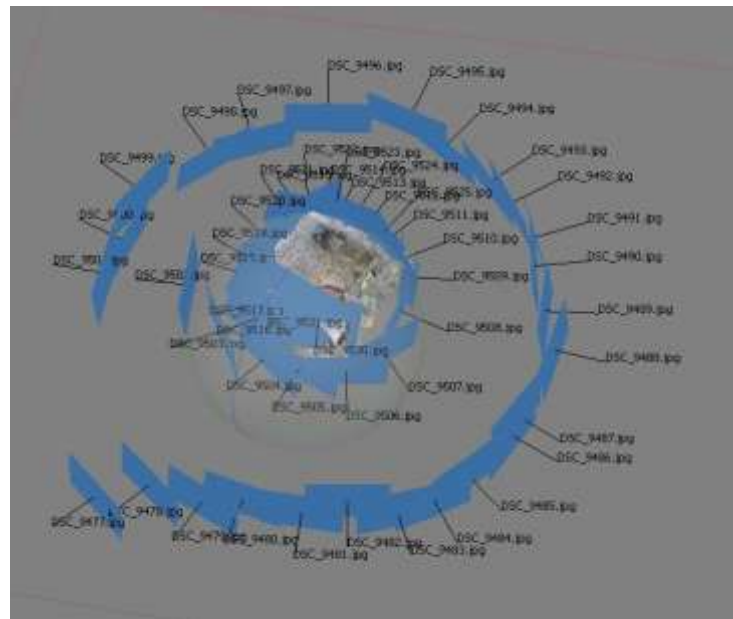


Figura 13: Toma fotográfica del Capitel.

- Columna del Peristilo.** Las imágenes tomadas de esta columna se han realizado mediante planos enteros en los cuales se muestra la totalidad del objeto y mediante primeros planos para realizar la toma de la parte superior de la figura. Se ha empleado el ángulo normal y el picado extremo para obtener la parte superior del objeto. El encuadre para realizar la toma fotográfica ha sido el horizontal, como podemos observar en la siguiente imagen.

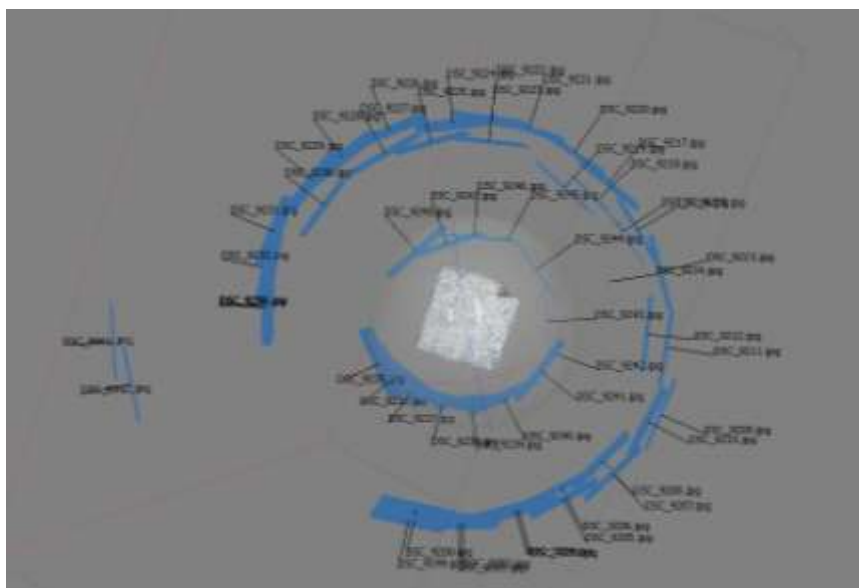


Figura 14: Toma fotográfica de la Columna del Peristilo.

- Puerta de acceso a Orchestra.** Mediante planos generales se realizó la toma de imágenes de la puerta, ya que al situarnos a una distancia prudencial, se ha logrado abarcar toda la superficie de nuestro objeto, y con un ángulo de toma normal se ha logrado reflejar la profundidad con la que cuenta este objeto. El tipo de encuadre empleado ha sido el horizontal. La distribución de la toma de imágenes la podemos ver a continuación.

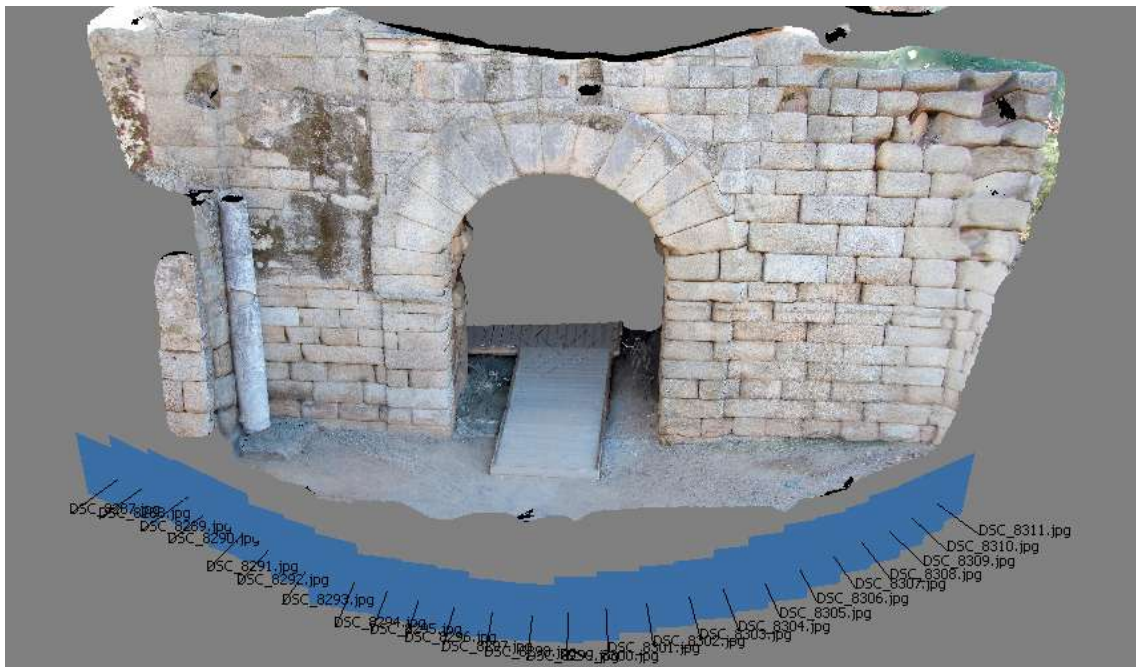


Figura 15: Toma fotográfica de Puerta de acceso a la *Orchestra*.

- **Estela funeraria de Los Columbarios.** La estela la hemos realizado mediante planos generales, en los cuales se ha fotografiado toda la figura. El ángulo empleado ha sido el normal, y se ha utilizado un encuadre general para la realización de las fotografías. El tipo de encuadre utilizado ha sido el horizontal. A continuación en la siguiente imagen, se muestra la forma en la que se han dispuesto las imágenes realizadas.

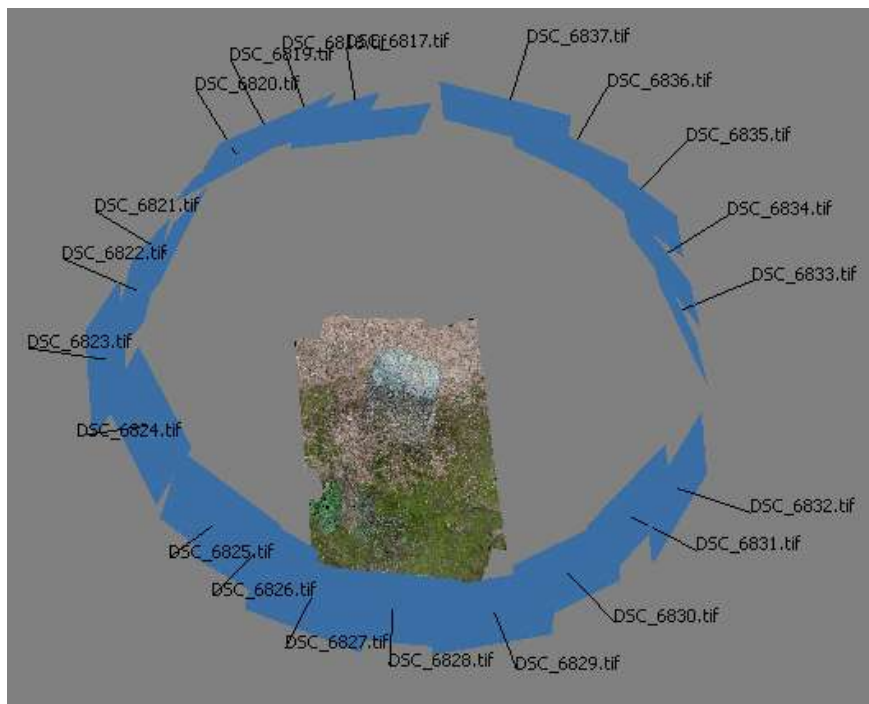


Figura 16: Toma fotográfica de la estela funeraria de Los Columbarios.

4.2 Procesado de imágenes

En esta fase estudiaremos las opciones de los dos software que se han empleado para la ejecución de nuestro proyecto, Agisoft PhotoScan (software comercial de escritorio) y Autodesk 123D Catch (software gratuito basado en web).

4.2.1 Agisoft PhotoScan

Agisoft PhotoScan es un software comercial de escritorio, lo que implica que va a utilizar los recursos del ordenador para realizar todo el proceso de creación del modelo 3D. Esto, tiene el inconveniente de que si no se dispone de un ordenador muy potente, el proceso será lento y difícil, y quizás no permita crear modelos en calidad alta o muy alta. Podrá, sin embargo, tener un control mucho mayor en todo el proceso de creación de la nube de puntos, la geometría y la textura.

El primer paso que realizaremos será su descarga mediante el siguiente enlace: <http://www.agisoft.com/>, donde obtenemos una versión demo de 30 días de duración.

Una vez instalado y abierto el programa nos encontramos con 4 ventanas diferenciadas:

- a) En la parte superior la barra de herramientas con todas las opciones de trabajo.
- b) En la parte izquierda, información sobre el flujo de trabajo que se está realizando.
- c) En la parte central se crea el modelo y una vez terminado, se manipula.
- d) En la parte inferior, aparecen los iconos de las imágenes cargadas con posibilidad de consultar información de las mismas.

El flujo de trabajo del programa descansa en 5 pasos indicados en la figura 17 y que se explican a continuación:

- Añadir fotos o carpeta de fotos
- Orientar fotos
- Crear nube de puntos densa
- Crear malla
- Crear textura

El primer paso que hemos de realizar es agregar las imágenes, para ello seleccionaremos una opción que podemos ver en la barra de herramientas llamada, "*Flujo de trabajo*". Si pinchamos en esta opción, en la primera elección que nos aparece podemos añadir nuestras imágenes. También podemos agregar imágenes mediante una carpeta que las contenga, para ello será necesario elegir la segunda opción al desplegar la pestaña de "*Flujo de trabajo*" llamada "*Añadir carpeta*".

Es necesario tener en cuenta que Agisoft acepta los siguientes formatos de imagen: JPG, TIFF, PNG, BMP, PPM, OpenEXR.

En la realización de este proyecto se ha utilizado el formato de imagen JPG. Se han de agregar las imágenes más representativas que nos ofrezcan un recubrimiento completo de nuestro objeto.

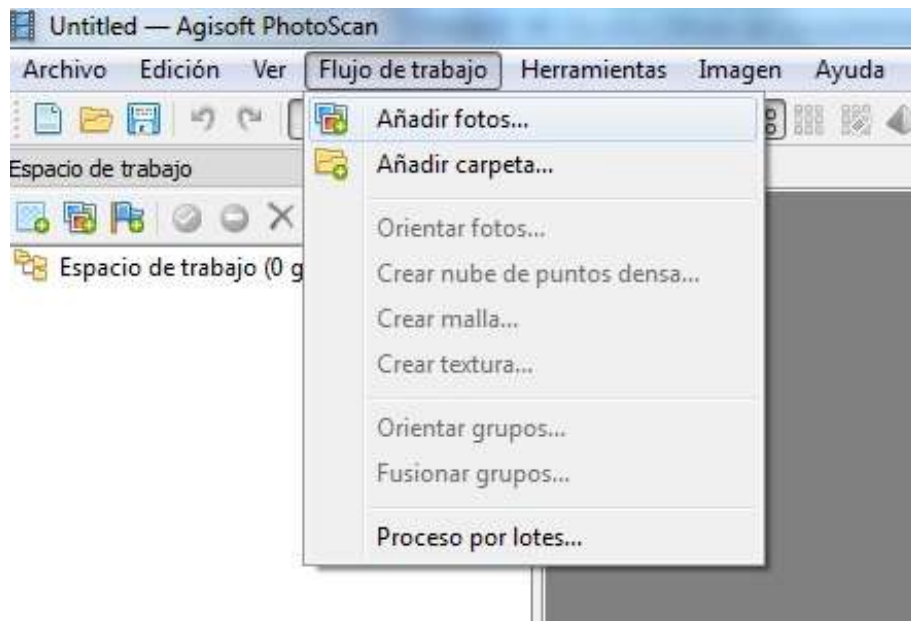


Figura 17: Flujo de trabajo: Añadir fotos.

Una vez que tenemos las imágenes más representativas cargadas, se muestran en la parte inferior de la ventana en el marco denominado *“Imágenes”*. A continuación procedemos al segundo paso, que será alinear (orientar) las fotografías. Para ello debemos pinchar en la opción *“Orientar fotos”*, dentro de la opción *“Flujo de trabajo”*.

Para orientar las imágenes, lo haremos a una resolución alta y el emparejamiento de imágenes, lo realizaremos de una forma genérica, como se indica en la figura siguiente.



Figura 18: Flujo de trabajo: Orientar fotos.

El software identifica puntos característicos comunes ('matching') en varias imágenes, por defecto 40 000, y los empareja. Podemos aumentar los puntos de búsqueda por foto en el menú, en la opción de *“Herramientas”* y posteriormente en *“Preferencias”*.

Se produce una calibración de las fotografías obteniendo la posición y orientación relativa de las mismas. En este paso, se está creando una nube de puntos sencilla.

En el proceso de alineación el programa utiliza varios algoritmos (Structure from Motion) que detectan los puntos y obtiene la orientación y posición de las imágenes.

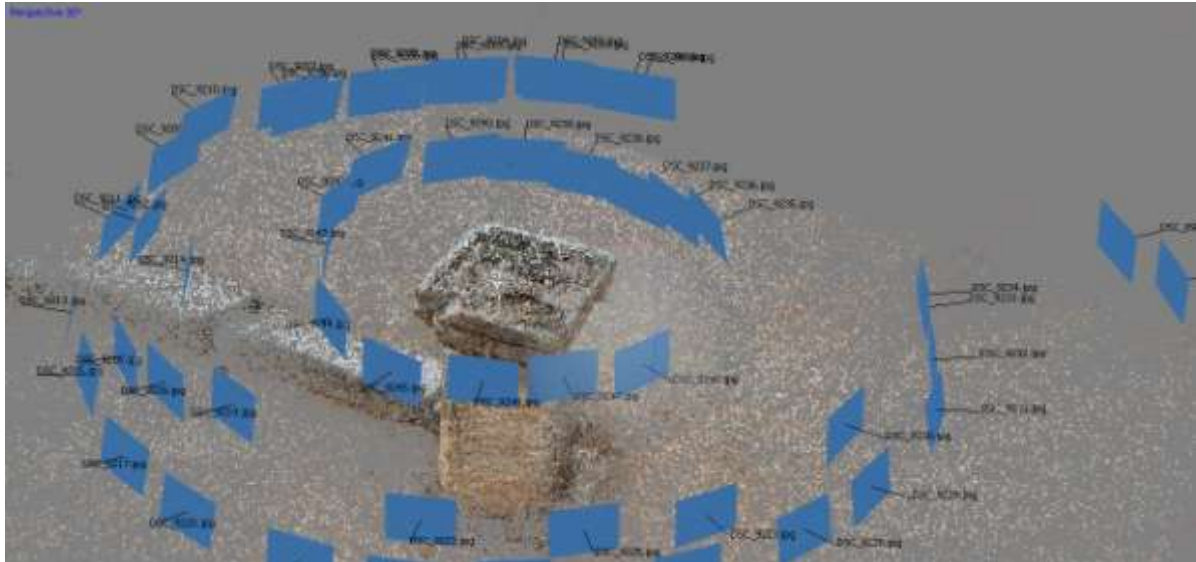


Figura 19: Puntos Comunes y Alineación de Imágenes.

Es posible eliminar o desactivar fotografías en el proceso para una mejor generación del modelo.

Para continuar con el tercer paso, seleccionamos la opción *“Crear nube de puntos densa”* que reconstruye mapas de profundidad. Si disponemos de un PC con unas características adecuadas para ello, se realizará a una resolución alta o extra alta. El tiempo de procesado en esta fase será cuantioso, no obstante, dependerá del número de fotografías que empleemos para la confección del proyecto. El proceso puede llegar a tardar desde horas hasta días. Al procesar no es conveniente ejecutar otra acción con el ordenador, ya que no nos va a responder correctamente, pudiéndose hasta bloquear el programa.

El cuarto paso consiste en crear la malla y para ello le asignaremos las características que se muestran en la figura siguiente.

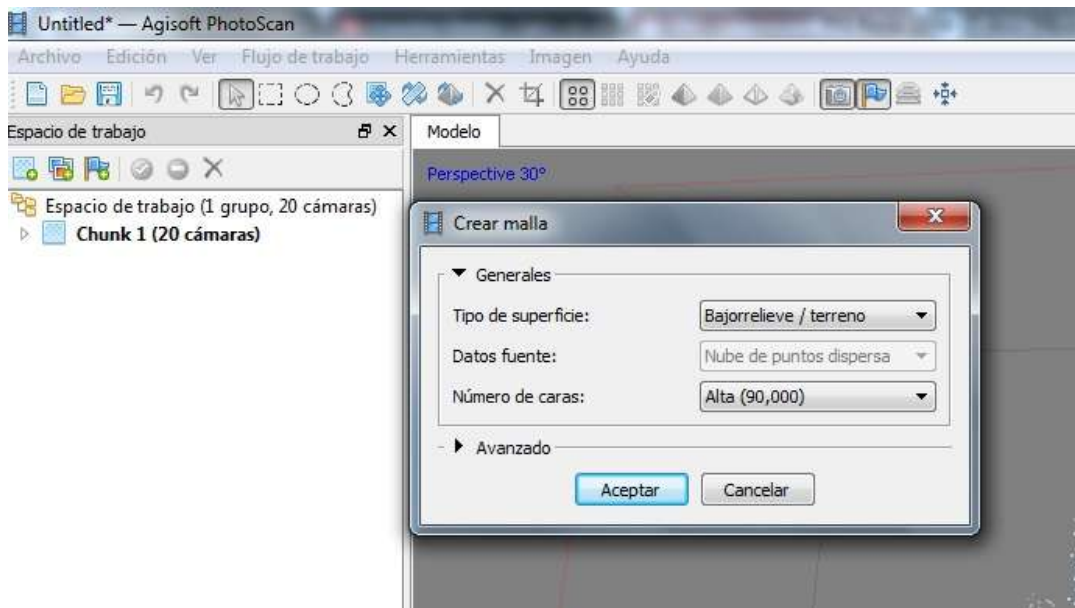


Figura 20: Flujo de trabajo: Crear malla.

Una vez que tenemos la malla creada, llegaremos al último paso, crear la textura. En esta opción, el software parametriza los mapas de texturas y mezcla texturas. Este proceso, por regla general, suele ser rápido.

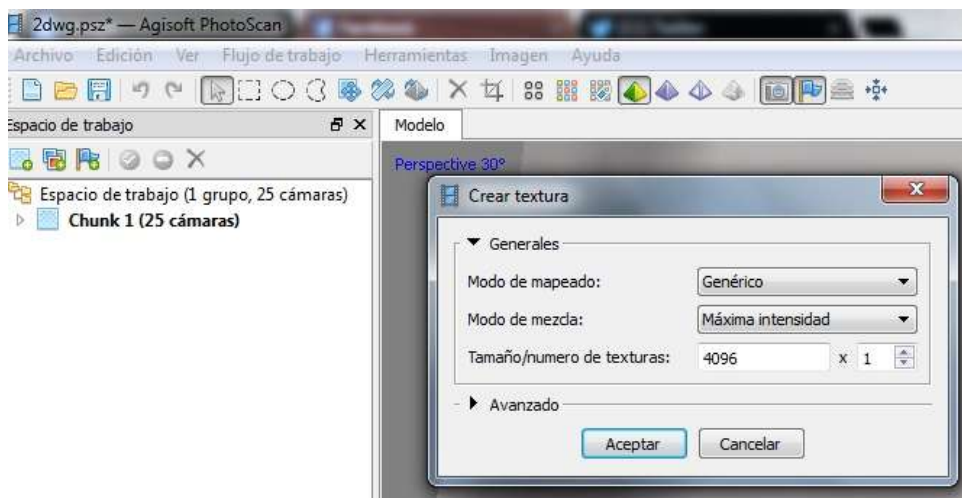


Figura 21: Flujo de trabajo: Crear texturas.

Para completar los retoques del modelo y obtener un resultado adecuado, es necesario cerrar los agujeros. Procedemos a mostrar con una imagen, las pautas a seguir, para encontrar esta opción.



Figura 22: Cerrar agujeros con PhotoScan.

Posteriormente, cuando ya hemos completado el proceso de cerrar agujeros, procedemos a la limpieza del modelo. Para eliminar los elementos sobrantes, podemos realizarlo mediante tres opciones diferentes.

La primera opción, nos permite seleccionar un espacio rectangular, opción muy útil cuando necesitamos recortar líneas rectas. Como segunda opción, nos encontramos con una selección circular y por último para completar la limpieza del proyecto, la última acción es la de selección libre. Esta opción nos permite recortar figuras con las formas que deseemos.

Una vez que ya hemos seleccionado el área que pretendemos recortar, solo tenemos que pulsar la tecla de suprimir, y el área seleccionada se eliminará automáticamente. A continuación se muestra una imagen como ejemplo de cada una de las opciones de recorte explicadas. La zona a recortar aparece marcada en color rosa.



Figura 23: Selección Rectangular.



Figura 24: Selección Circular.



Figura 25: Selección de formato libre.

Otra opción previa al procesado es la creación de máscaras. Para ello hay que ir foto por foto, creando una máscara en torno al objeto. El procesado sólo se hará con los elementos que se encuentren enmarcados. Este procesado será más rápido, pero a costa de perder tiempo preparando cada foto. En este trabajo sólo se hizo para el caso de la estela funeraria a modo de prueba. Para casos como la escena del Teatro con muchas imágenes y muchos elementos a recortar, hubiera llevado excesivo tiempo. Además no todos los objetos son susceptibles de crear máscaras, pues si son excesivamente simples, podría no generarse el modelo al no tener el programa suficientes puntos de referencia.

En la figura siguiente se muestra la máscara creada en torno a una de las imágenes de la estela funeraria.

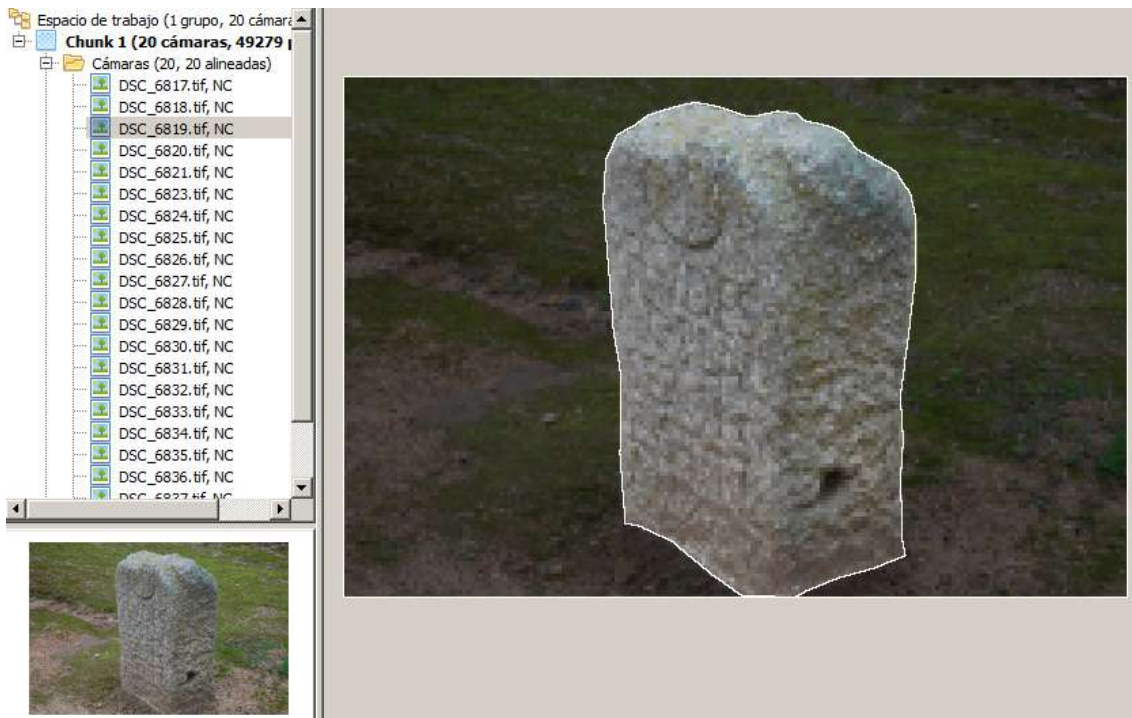


Figura 26: Creación de máscaras con Agisoft PhotoScan.

Para finalizar con PhotoScan, la última pauta a seguir, será la exportación de nuestro modelo 3D. Para ello es necesario que guardemos nuestro modelo en formato OBJ, para posteriormente importarlo al software Meshlab. En este software exportaremos el modelo 3D en una imagen, en el formato que deseemos. En este caso se ha exportado en formato de imagen PNG, formato menos comprimido que JPG.

4.2.2 123D Catch de Autodesk

Para comenzar la utilización de este software, y según sus recomendaciones, vamos a tener en cuenta unas consideraciones previas:

El funcionamiento de Autodesk 123D Catch se basa en la combinación de un juego de imágenes tomadas de un elemento determinado, un objeto o persona, dichas imágenes han sido realizadas desde diferentes ángulos. Para comenzar a desarrollar un proyecto propio, será necesario tomar la mayor cantidad de fotografías posibles de aquel objeto que se desee generar en 3 dimensiones, con un máximo de 70 imágenes.

En este sentido, la recomendación es que se comience desde un punto determinado para que nos sirva de guía y luego empecemos a movernos de forma circular alrededor del mismo, tomando fotos a cada intervalo regular. Asimismo, y una vez que se haya concluido con esa vuelta de 360 grados, se deberá realizar el mismo proceso pero desde una altura diferente. Así mismo se deberá proceder varias veces hasta tener una considerable galería de fotografías que cubran todos los aspectos y ángulos de visión posibles.

Mencionar un aspecto importante que hemos de tener en cuenta, mediante 123D Catch sólo podemos procesar fotos tomadas desde una sola cámara.

Asimismo, también cabe destacar que el proceso de creación de las representaciones 3D se realiza a través de los servidores de Autodesk, lo cual implica dos aspectos. El primero es que se necesitará una conexión a Internet activa para subir las imágenes para su procesamiento. El

segundo aspecto es que no se necesitará un ordenador tan potente de forma local, ya que la mayoría de los recursos utilizados serán los de la nube, lo cual también implicará disponer de una buena conexión a Internet.

Una vez que hemos tenido todas estas consideraciones en cuenta, procedemos a llevar a cabo nuestro proyecto, con una serie de pautas que se explicaran a continuación:

Realizadas las fotografías y descargada e instalada la aplicación gratuita para PC desde la web, vamos a comenzar a crear nuestra representación en 3D. Para ello, deberemos abrir Autodesk 123D Catch y seleccionamos la opción "Create New Capture", para llevar a cabo esta acción será necesario que nos registremos en el programa ya sea mediante una cuenta de Autodesk, la cual si no se dispone de ella puede ser reemplazada por cuentas de diferentes redes sociales, tales como Facebook, Twitter o Windows Live, entre otros servicios.



Figura 27: Create New Capture.

A continuación procedemos a seleccionar las imágenes que conformaran nuestro proyecto final, esta acción la ejecutaremos en la próxima ventana. Las imágenes que elegiremos serán las más representativas y mejor capturadas. Debemos subir tantas imágenes como sean necesarias, hasta un máximo de 70, para que en nuestro proceso de modelado podamos obtener unos resultados óptimos.

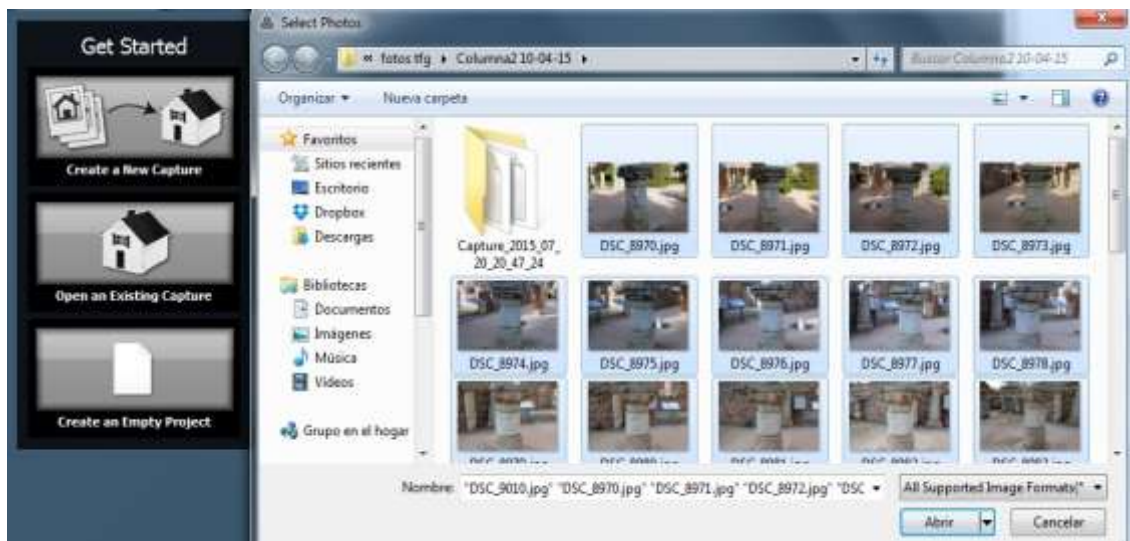


Figura 28: Selección de fotografías en 123D Catch.

Una vez que hemos seleccionado las fotografías, crearemos nuestro proyecto para ello elegimos la opción *“Create Project”*, para que los servidores remotos y sus algoritmos comiencen a interpretar el juego de fotografías y se preparen para la generación 3D. En este proceso debemos ser pacientes ya que es un proceso lento. Si disponemos de una buena conexión a un servidor de Internet, el proceso se puede agilizar. No obstante el proceso suele ser paulatino.



Figura 29: Creación del proyecto en 123D Catch.

Al pinchar en la opción *“Create Project”* aparecerá una ventana, la cual aclara que este proceso lleva un tiempo, y pide que completemos algunos campos con cierta información sobre el proyecto. De este modo, completaremos el nombre de la captura, la dirección de correo o cuenta, las etiquetas y la categoría de la creación, así como también será necesario añadir una pequeña descripción. Para que el programa ejecute nuestro proyecto, todos estos campos deben ser completados sin restricción alguna.



Figura 30: Campos obligatorios a rellenar para crear un proyecto en 123D Catch.

Finalmente cuando ya se han rellenado todos los datos, el software ofrece 3 opciones con respecto a qué hacer mientras el programa procesa las fotografías. La primera opción es esperar con el programa abierto, comando *“Wait”*; esta opción tiene el inconveniente de que si realizamos otra acción con nuestro ordenador es posible que el programa no responda correctamente a las acciones que intentamos ejecutar y en la mayoría de casos tengamos que abortar el proceso.

La segunda opción de la que disponemos es la de *“Email me”*. Si elegimos dicha opción enviarán a nuestro correo electrónico un enlace con la captura preparada. Esta opción sería la más recomendada dado a que esperar a que el programa procese los resultados online, no siempre se obtienen los resultados deseados.

La tercera opción que ofrece el software es la de *“Cancel”* opción que permite cancelar el proceso para agregar más imágenes en el caso de que fuese necesario.

Si optamos por llevar a cabo la segunda opción, tendremos que, una vez que sea enviado el enlace con la captura que hemos creado, descargarla en nuestro ordenador para comenzar a depurarla y a realizarle los retoques necesarios. Para ello, será necesario volver a la interfaz principal de Autodesk 123D Catch y seleccionar la opción *“Open an existing capture”*. En esta opción el software requerirá que indiquemos dónde está la captura anteriormente creada, por lo que deberemos bucear hasta la ubicación en donde ha sido descargada.

Al finalizar este proceso, el programa nos muestra todas las imágenes en una columna continua en el inferior de la pantalla y la recreación 3D en el centro de la pantalla. Con varias opciones de comandos que contempla el programa tales como: *“Pan”* y *“Orbit”*, podemos navegar por nuestra creación del modelado 3D. Dichos comandos los podemos ejecutar pinchando en la parte superior en la barra de herramientas de la que dispone el software.



Figura 31: Recreación en 3D e imágenes mostradas de la Columna en 123D Catch.

De tal modo, solo se tendrá que escoger la que nos guste, arrastrar y soltar el puntero del ratón. Asimismo, también podremos observar una serie de cámaras alrededor de la recreación. Las mismas cámaras serán las que mostrarán los diversos ángulos provistos por cada una de las fotografías que anteriormente fueron cargadas.

A continuación es necesario atravesar dos etapas antes de exportar nuestro producto final. La primera de ellas tiene que ver con la calidad con que deseamos generar la representación del objeto, dado que hasta ahora sólo se ha trabajado con la calidad más baja. Para trabajar a una calidad más alta tendremos que dirigirnos al icono del cubo que podemos observar en la parte superior de la barra de herramientas. Esta acción hará que nos aparezca una ventana con varias opciones. En esta ventana de opciones tendremos tres alternativas de calidad diferente. En la primera opción contaremos con una resolución ideal para móviles, la siguiente opción será una calidad estándar y en la última contaremos con la de alta resolución, que es solo recomendable si el modelo ha de utilizarse en otra aplicación, a modo de ejemplo, como una suite de animación o un editor de video.

La segunda etapa es la limpieza y depuración del modelo; esta etapa es compleja y lenta, ya que el programa no responde correctamente a estas acciones.

Para su limpieza solo tendremos que utilizar las dos herramientas de selección "*Rectangular Selection*" o "*Lasso Selection*", ya sea para marcar los campos rectangulares o sin forma para delimitar porciones en donde se nos hayan colado fondos innecesarios o bordes que nos sobren de nuestros modelos, ya que lo que pretendemos es realizar el modelado de la figura solamente.

Cuando hemos seleccionado aquellas zonas que pretendemos eliminar (marcado en rojo en la figura siguiente), sólo tendremos que utilizar la tecla suprimir para borrar todos aquellos elementos indeseados en nuestro proyecto.



Figura 32: Limpieza del proyecto en 123D Catch.

Una vez que ya hemos seguido todas las pautas mencionadas anteriormente para crear nuestro modelo propiamente dicho, procedemos a exportar la representación de nuestro objeto en tres dimensiones.

Para llevar a cabo este proceso contaremos con tres opciones. La primera es el comando "Export Capture As", esta opción es sumamente útil para posteriormente exportar nuestra creación en un formato compatible con programas de edición de video.

Disponemos de otras dos opciones para la exportación del modelo, ambas opciones nos permitirán exportar un video de forma local o subir nuestra creación mediante YouTube, para ello será necesario trabajar con las opciones de animación que nos oferta el programa.

Para exportarlo de una forma local, clicamos sobre la barra de herramientas de las que dispone el programa, la opción seleccionada mediante un círculo negro que se muestra en la siguiente figura.



Figura 33: Exportar vídeo con animaciones de los modelos 3D de forma local en 123D Catch.

Una vez que damos a esta opción, ya podemos realizar las animaciones con la imagen generada. La animación la podemos hacer de manera que su duración sea mayor o menor, estableciendo para ello un tiempo expresado en segundos para cada movimiento del modelo, o elegir la animación por defecto que usa las fotografías ordenadas.

A la hora de subirlo a YouTube, lo podemos hacer mediante la siguiente opción, marcada también en negro en la figura siguiente:



Figura 34 : Exportar vídeos con animaciones de los modelos 3D a YouTube con 123D Catch.

Para ello es necesario, introducir nuestra cuenta y contraseña. También rellenaremos varios parámetros estableciendo un título del video y opcionalmente una pequeña descripción. Debemos aceptar los acuerdos y las condiciones que establece YouTube para la subida. Mediante la siguiente imagen podemos apreciar estos parámetros a introducir.

Figura 35: Opciones para exportar a YouTube desde 123D Catch.

5. Resultados

Se indican a continuación los resultados obtenidos de los procesos explicados en el apartado de metodología. Los ficheros originales pueden consultarse en el CD que acompaña a este Trabajo Fin de Grado, donde se incluyen los siguientes archivos:

- Fotografías realizadas.
- Resultados del procesado con Agisoft PhotoScan.
- Resultados del procesado con 123D Catch.

Dentro de cada fichero, la información se clasifica según cada objeto de estudio.

5.1 Toma de fotos

En este apartado se realizará un estudio sobre las fotografías realizadas a cada uno de los objetos que se han fotografiado para este proyecto.

Para realizar las fotografías no debemos escatimar en el número de instantáneas que realicemos al objeto, ya que cuantas más fotografías realicemos mejor recubrimiento tendremos y mayor precisión a la hora de obtener el modelo 3D.

- **Escena del Teatro Romano.** Este objeto ha sido el más difícil de fotografiar debido a sus grandes dimensiones. Fue necesario realizar una serie de instantáneas a diferentes niveles, para tener el solape necesario entre fotografías y para el total recubrimiento de la escena del Teatro.

Para que los resultados obtenidos hubiesen sido los correctos, se hubiese necesitado incluso una grúa para realizar las imágenes, y así obtener un recubrimiento total de cada elemento de la escena del Teatro. Otro factor importante a tener en cuenta, fue conseguir que en nuestra escena no se proyectara ninguna sombra, por lo que solo fueron útiles las imágenes realizadas en el día nublado. La afluencia de turistas también fue un factor limitante, por lo que hubo que esperar al momento de menor presencia de personas. A continuación mostramos una imagen sobre la perspectiva de todas las instantáneas realizadas.

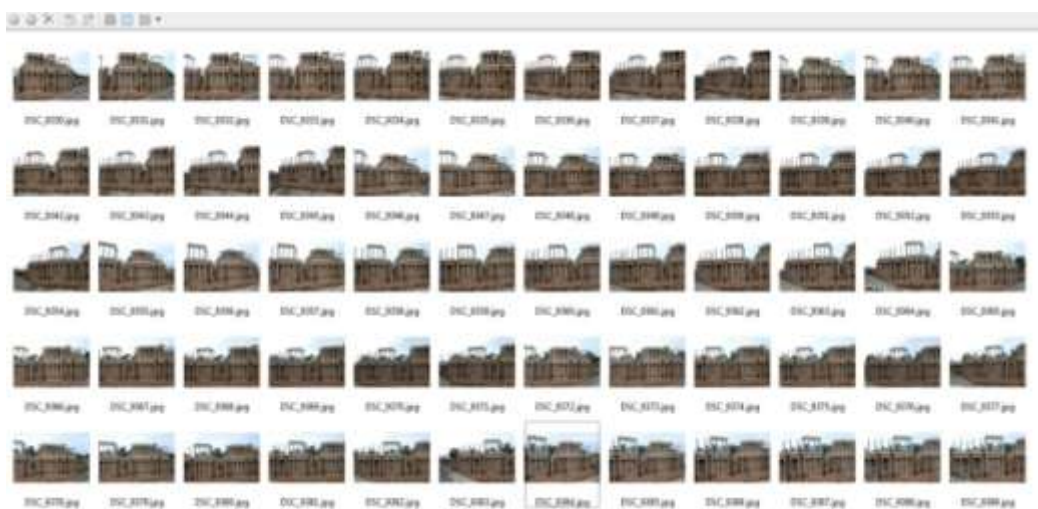




Figura 36: Serie de instantáneas del Teatro Romano.

- **Graderío del Anfiteatro.** En el conjunto de imágenes realizadas al Anfiteatro, se cambió varias veces la focal de la cámara, para que la serie realizada se ajustase perfectamente al recubrimiento y parámetros que necesitábamos para realizar nuestro modelado 3D.



Figura 37: Serie de instantáneas realizadas al Anfiteatro.

- **Escultura de Margarita Xirgu.** Para la serie de fotografías realizadas a la estatua de Margarita Xirgu, fue necesario utilizar la segunda serie realizada debido a que en el primer conjunto de fotografías se proyectaban las sombras de nuestro objeto. El segundo resultado ha sido correcto, debido a que en ningún momento se proyectó ninguna sombra y el recubrimiento entre imágenes fue el adecuado. En la siguiente imagen se muestra el conjunto de la segunda serie realizada.

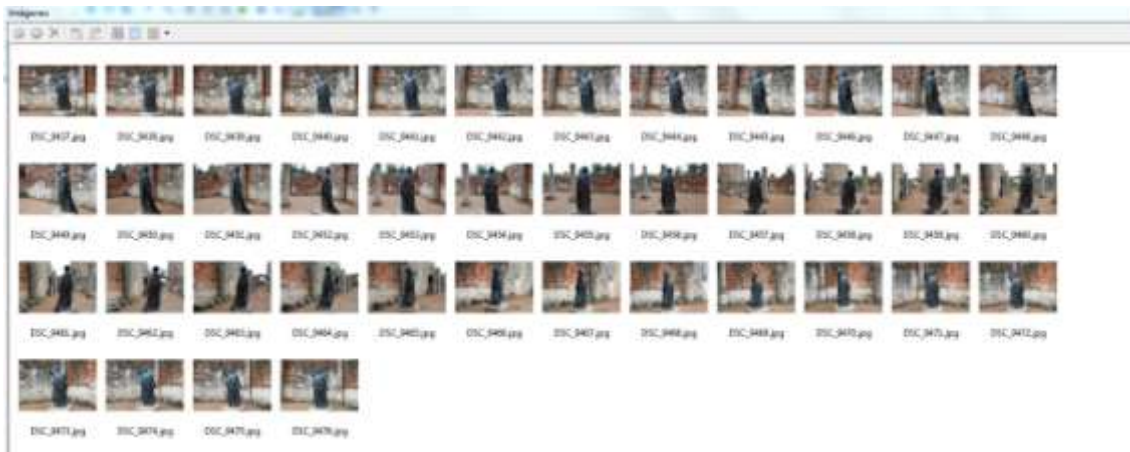


Figura 38: Serie de instantáneas realizadas a la figura de Margarita Xirgu.

- **Fuente.** Las imágenes obtenidas de este elemento han sido fáciles de realizar, debido a que este objeto presenta unas dimensiones muy pequeñas. De la misma forma que en el caso anterior, sólo fueron útiles las fotos correspondientes a la segunda serie realizada, debido a las condiciones del sol. El resultado de la siguiente serie se ajustó perfectamente el solape entre imágenes necesario para la realización de nuestro modelado 3D, sin proyección de sombras.

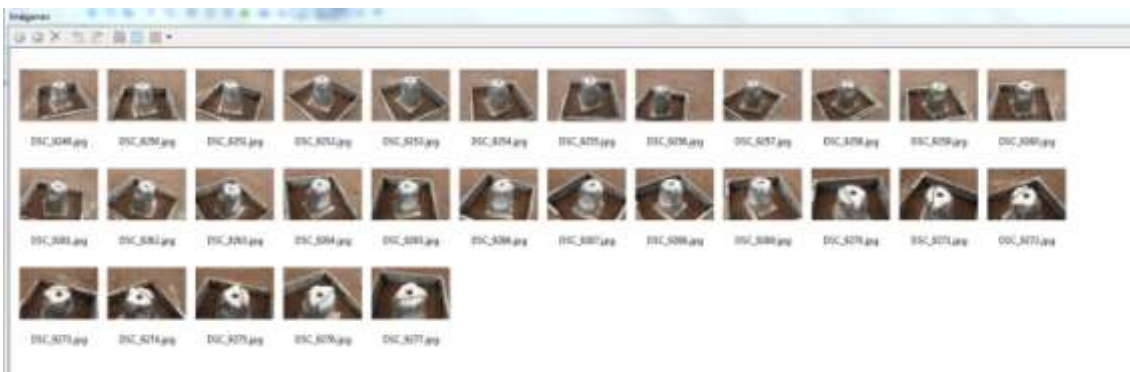


Figura 39: Serie de instantáneas realizadas al objeto denominado "Fuente".

- **Capitel.** El conjunto de imágenes realizado al capitel se ajusta al resultado esperado. Se ha bordeado el objeto para cubrir toda la superficie, también se han realizado instantáneas bordeando la parte de encima del capitel. Se realizaron las fotografías necesarias para tener un recubrimiento suficiente con un solape entre imágenes superior al 60%.

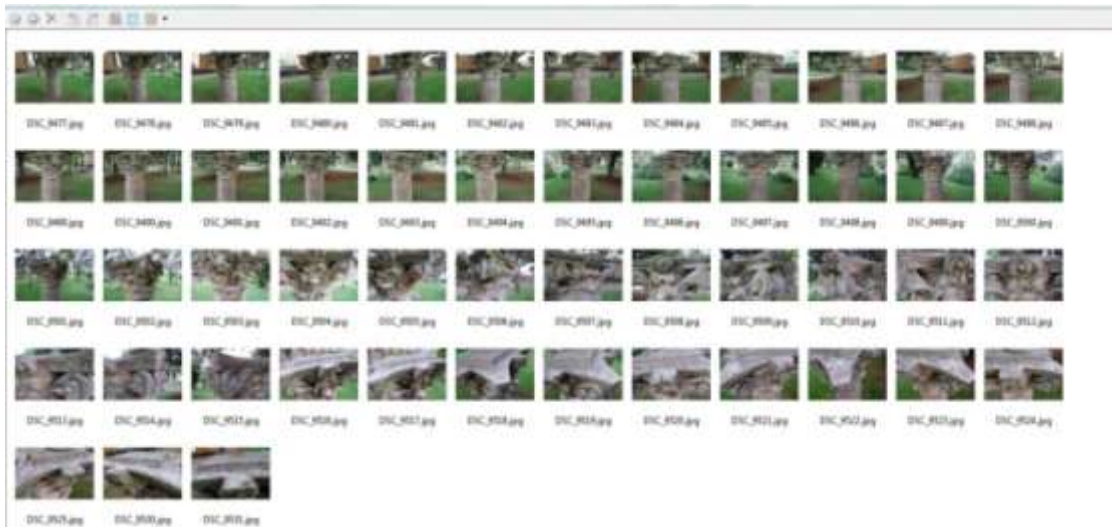


Figura 40: Serie de instantáneas realizadas al Capitel.

- **Columna del Peristilo.** El resultado de la serie de imágenes realizadas a este elemento ha sido el correcto. Los parámetros se han ajustado perfectamente para la realización del modelado 3D.



Figura 41: Serie de instantáneas realizadas a la Columna del Peristilo.

- **Puerta.** Para el objeto que hemos denominado con el nombre de “Puerta”, solo fue necesaria una toma de fotografías, pues se obtuvieron los resultados esperados.

Se comenzó tomando instantáneas desde la parte izquierda de la puerta, a pocos metros de distancia, hasta finalizar en la parte derecha. Las fotografías se realizaron con un recubrimiento correcto. A pesar de ser un día soleado en ningún momento se proyectaron sombras sobre el objeto. Adjuntamos en este caso también en la figura 42, la distribución de las cámaras en Agisoft PhotoScan frente al objeto, rectángulos azules con la indicación, por ejemplo, DSC_8311.jpg. En color rosa (segunda por la izquierda) la cámara que se está visualizando en el apartado de imágenes.

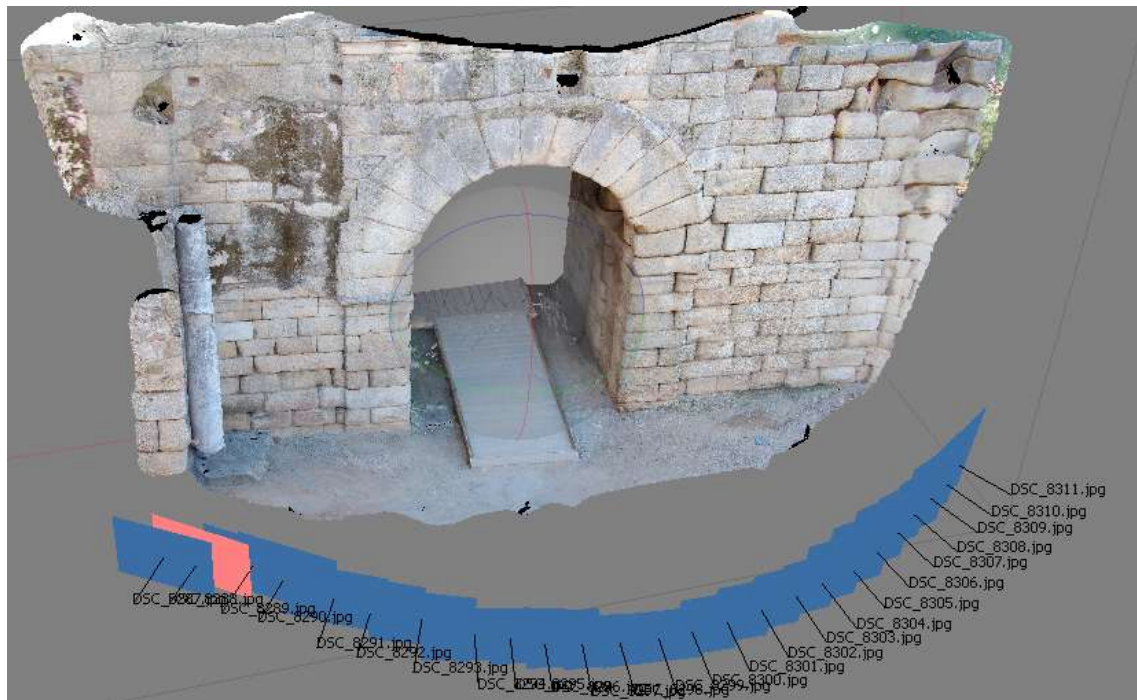


Figura 42: Distribución de fotos del objeto “Puerta” con Agisoft PhotoScan.

En la figura siguiente tenemos la misma distribución para el caso de 123D Catch. Aquí la cámara se representa con un icono blanco en forma de cámara. En verde (primera por la izquierda) la cámara que se está visualizando en el apartado de imágenes.

En ambos casos es posible ocultar las cámaras.



Figura 43: Distribución de fotos del objeto “Puerta” con 123D Catch.

- **Estela funeraria de Los Columbarios.** El conjunto de imágenes realizado a la estela se ajustó correctamente al resultado que pretendíamos obtener. Se realizaron instantáneas bordeando todo el objeto hasta tener un recubrimiento de más de un 60 % entre imágenes. En ningún momento se han proyectado sombras sobre nuestro objeto.



Figura 44: Serie de instantáneas realizadas a la Estela de Los Columbarios.

5.2 Procesado de imágenes

Este proceso ha sido muy monótono, dado el carácter automatizado de las aplicaciones. A continuación se detallan las pautas empleadas para el procesamiento en cada una de las aplicaciones mencionadas.

5.2.1 Agisoft PhotoScan

El procesamiento de imágenes mediante este software ha sido muy lento. Para llevar a cabo tal acción, ha sido necesaria la utilización del ordenador más potente, el PC HP, por lo que los tiempos de procesado se refieren a las características indicadas en el apartado 3.3.

A continuación se detalla el procesamiento de imágenes mediante este software en los diferentes objetos procesados.

- **Escena del Teatro Romano.** El procesamiento de imágenes realizadas al Teatro Romano mediante el software Agisoft PhotoScan ha sido muy complicado y lento. Ha sido necesario emplear un gran número de horas (más de un día) ya que el número de instantáneas a procesar ha sido muy elevado para el correcto modelado 3D. La fase más lenta se corresponde con la creación de la nube de puntos densa. Para la utilización de Agisoft es necesario disponer de un ordenador potente para realizar el modelo 3D a una resolución alta o extra alta. La escena del Teatro Romano ha sido difícil de reconstruir por sus grandes dimensiones y por el gran número de fotografías a procesar.

Una ventaja que posee este software, es que a la hora de recortar el modelo es más rápido, y debido a la gran cantidad de elementos tales como columnas a recortar, este factor ha sido determinante para agilizar este proceso. Mediante Agisoft el resultado que hemos obtenido en general ha sido correcto en el que podemos ver perfectamente sus columnas como se muestra en la imagen siguiente.



Figura 45: Modelo de la Escena del Teatro Romano obtenida mediante Agisoft PhotoScan.

- **Graderío del Anfiteatro.** Para realizar el modelado 3D del graderío del Anfiteatro se han empleado gran número de instantáneas por lo que su procesamiento también ha sido lento (también más de un día).

Se ha necesitado realizar su procesamiento en varias fases para poder seguir realizando otras cuestiones importantes con el PC, por lo que se ha tenido que abortar varias veces la operación. A la hora del procesar es importante que no llevemos a cabo otra acción ya que esto podría repercutir en nuestro modelo y quizás tengamos que comenzar a realizarlo de nuevo por eso en tal caso es necesario abortarlo y después continuarlo.

Para el Anfiteatro se ha obtenido un resultado aceptable pero se ha contado con un gran inconveniente, pues han aparecido algunas zonas blancas, posiblemente por un mal recubrimiento entre imágenes. A la hora del proceso de cerrar agujeros, como podemos observar en el modelado que se muestra a continuación, no se han cerrado del todo correctamente.



Figura 46 : Modelo del Anfiteatro obtenido mediante Agisoft PhotoScan.

- **Escultura de Margarita Xirgu.** El número de instantáneas que se han procesado no ha sido elevado pero sin embargo el tiempo de procesamiento sí (5 horas aproximadamente),

debido principalmente a que además de realizarse el modelo a la figura de Margarita Xirgu, hemos tenido muchos elementos alrededor que han salido en nuestro modelo y que posteriormente ha sido necesario depurar.

Mediante este software hemos obtenido un resultado correcto, ya que se ha reconstruido perfectamente la escultura. Para evitar la aparición de elementos innecesarios, ya se comentó la opción de realizar máscaras a las fotos, es decir debemos de marcar la parte de cada foto que deseamos que se procese. Las máscaras se pueden generar manualmente en el propio programa o importarlas a partir de ficheros.



Figura 47: Modelo de la Estatua de Margarita Xirgu obtenida mediante Agisoft PhotoScan.

- **Fuente.** El modelado 3D de este objeto no ha salido adecuadamente debido a que la parte de arriba de nuestra figura no se ha reconstruido correctamente y ha quedado hueca. Esto ha podido suceder porque la parte superior presenta una zona muy lisa y con el mármol muy pulido. Las imágenes realizadas a nuestro objeto han sido las correctas, el objeto se ha bordeado por la parte superior recubriendo perfectamente toda la parte de arriba por lo que las imágenes no han sido el motivo para que dicha parte no saliese correctamente. El tiempo de procesamiento que se ha empleado ha sido corto, menos de una hora, ya que no disponíamos de muchas imágenes a procesar. Por lo tanto mediante Agisoft, no se han obtenido los resultados esperados.

A través de la siguiente imagen se muestran, varias perspectivas del modelo, en el cual podemos observar como la parte superior no está correctamente modelada.



Figura 48: Perspectiva del objeto denominado "Fuente" e imagen más detallada.

- **Capitel.** Para la realización del modelado de este objeto, hemos tenido el mismo inconveniente mencionado anteriormente en el objeto que hemos designado con el nombre de "Fuente", pues la parte superior ha quedado también hueca. El número de imágenes que se ha procesado ha sido elevado, por lo tanto se ha empleado bastante tiempo (casi 2 horas) para su posterior procesamiento. Al igual que en el caso anterior la toma de imágenes no ha sido el factor desencadenante para la incorrecta reconstrucción del objeto, sino la textura lisa de la piedra. A continuación se muestra mediante una imagen del resultado incorrecto del modelo.



Figura 49: Perspectiva del Capitel según Agisoft PhotoScan.

- **Columna del Peristilo.** El procesamiento de imágenes ha sido lento, debido a que disponemos de un gran número de fotografías a procesar, aunque por otra parte no hemos tenido muchos elementos alrededor que reconstruir, tal aspecto ha agilizado la realización de nuestro modelado 3D mediante este software. El resultado que hemos obtenido de este procesamiento ha sido excelente ya que el modelo se ha reconstruido perfectamente.

Se muestra a continuación una instantánea con los resultados obtenidos de la columna.



Figura 50: Modelo de la Columna del Peristilo obtenida mediante Agisoft PhotoScan.

- **Puerta.** El procesamiento de imágenes de este monumento ha sido rápido (30 minutos aproximadamente) debido a que el número de instantáneas a procesar ha sido pequeño. El resultado que hemos obtenido en este modelo ha sido muy bueno ya que nuestro monumento se ha reconstruido perfectamente pudiendo apreciar hasta los detalles de

profundidad que posee nuestra puerta, a excepción del fondo donde se observa un agujero donde se no ha creado textura, como se observa en la imagen siguiente.



Figura 51: Modelo de la Puerta de acceso a la *Orchestra* reconstruida con Agisoft PhotoScan.

- **Estela funeraria de Los Columbarios.** El número de instantáneas de la estela funeraria ha sido pequeño, por tal motivo se ha empleado poco tiempo para su procesamiento (unos 20 minutos). El resultado que hemos obtenido ha sido muy correcto. En el modelo 3D realizado a una resolución alta podemos observar perfectamente las inscripciones con las que cuenta dicha estela.



Figura 52: Modelo de la estela funeraria obtenida mediante Agisoft PhotoScan.

5.2.2 123D Catch de Autodesk

Para el procesamiento de las imágenes mediante el software 123D Catch, se puede utilizar cualquier hardware ya que este software trabaja online y no necesitamos emplear un PC tan potente, como el que empleamos con Agisoft PhotoScan. Los tiempos indicados de procesamiento son aproximados y se corresponden con el PC SONY VAIO explicado en el apartado 3.3.

Uno de los grandes inconvenientes que nos podemos encontrar en este software es a la hora de recortar, pues el programa se suele quedar colgado y no responde correctamente, en el caso de que intentemos realizar otra acción.

El procesamiento de imágenes mediante este software es lento, tener una buena conexión de red ayudara a que el procesamiento de imágenes sea más rápido. Posteriormente cuando hemos finalizado el modelo 3D se puede subir a la red.

A continuación detallaremos como ha sido el procesamiento de imágenes en cada uno de los modelos realizados.

- **Escena del Teatro Romano.** El procesamiento de imágenes en el Teatro Romano mediante este software ha sido muy complicado debido a que tenemos la restricción de que no podemos introducir un número superior a 70 fotografías, por tal motivo el modelo no se ha realizado correctamente, debido a que no tenemos el número suficiente de fotografías y no disponemos del recubrimiento necesario para su posterior generación de modelado. El tiempo empleado en el procesamiento ha sido de 3 horas aproximadamente.

Para la realización del modelado de este objeto ha sido necesario seleccionar las fotografías más significativas y con mayor recubrimiento entre ambas imágenes. El modelo no ha salido correctamente; lo podemos observar en el resultado que hemos obtenido de las columnas, por lo que necesitamos más instantáneas para tener un perfecto recubrimiento de todas las grandes dimensiones del Teatro Romano. Los resultados los mostramos mediante la siguiente imagen.



Figura 53: Modelo de la Escena del Teatro Romano según 123D Catch.

- **Graderío del Anfiteatro.** Para la realización del graderío del Anfiteatro, el procesamiento de imágenes ha sido lento (en torno a 2 horas 30 minutos), ya que hemos contado con un gran número de imágenes, aunque no se ha llegado a las 70 y por lo tanto no se ha tenido restricción alguna para realizar el modelado 3D.

El modelo realizado mediante este software ha sido menos correcto que el realizado mediante Agisoft PhotoScan debido principalmente a la aparición de más zonas blancas por un mal recubrimiento entre imágenes.

En la siguiente instantánea se muestra el resultado obtenido.



Figura 54: Modelo del Anfiteatro según 123D Catch.

- **Escultura de Margarita Xirgu.** El tiempo de procesamiento de la figura de Margarita Xirgu ha sido en torno a una hora. No se ha empleado mucho tiempo para la realización del modelado 3D, ya que el número de instantáneas del que disponíamos no era muy elevado.

Aunque el tiempo de procesamiento no ha sido muy grande, hemos contado con la restricción de no poder llevar a cabo cualquier otra acción con el ordenador. Esta figura se ha reconstruido perfectamente mediante este software, como se puede apreciar en la siguiente imagen.



Figura 55: Modelo de la estatua de Margarita Xirgu reconstruida con 123D Catch.

- **Fuente.** El procesamiento de las imágenes del objeto que se ha denominado con el nombre de “Fuente” no ha sido muy complejo, ya que no disponemos de una gran cantidad de instantáneas. Por lo tanto el tiempo que se ha empleado en la ejecución de este modelo ha sido pequeño (en torno a 50 minutos). El modelo realizado a través de este software ha sido correcto, la parte superior se ha reconstruido perfectamente, por lo tanto para realizar el modelo de este objeto, lo más correcto sería realizarlo mediante este software. En las siguientes imágenes se puede apreciar la correcta reconstrucción del modelo.





Figura 56: Perspectiva y parte superior de Fuente según 123D Catch.

- **Capitel.** Para la figura del capitel, se ha empleado un tiempo de procesamiento elevado ya que en la zona de las volutas ha sido complicado realizar el modelado por todos los elementos que lo componían. El número de imágenes realizado ha sido alto ya que necesitábamos tener el recubrimiento suficiente para su realización y para captar todos los pequeños elementos que forman parte de esta figura.

Mediante este software el objeto no se ha reconstruido perfectamente, dejando zonas sin cubrir en la parte superior.

A continuación se muestra una imagen detallada del modelo, en el que podemos apreciar las volutas con mucha precisión.



Figura 57: Modelo 3D del capitel creado con 123D Catch.

- **Columna del Peristilo.** En este objeto también nos hemos encontrado problemas al generar el modelo. Esta figura cuenta con unas características particulares, es una figura muy plana y monótona por lo que el software no encuentra características suficientes para la realización completa del modelo, que llevó en torno a 2 horas su procesamiento.



Figura 58: Modelo 3D de columna creado con 123D Catch.

- **Puerta.** Para el procesamiento de este monumento se empleó unos 45 minutos. Es uno de los objetos que más rápido se ha procesado, pues el número de imágenes empleado ha sido pequeño. Para la reconstrucción de este objeto, este software se ha adaptado de una manera correcta, ya que hemos obtenido un modelo perfecto en el que podemos observar los detalles de profundidad con los que cuenta dicha puerta, así como la perfecta estructura de ella pudiendo observar cada una de sus piedras con las que está realizada. Por consiguiente mostramos el resultado obtenido del modelo 3D, mediante varias instantáneas, para poder observar dicha profundidad.



Figura 59: Perspectiva y profundidad de la Puerta creados con 123D Catch.

- **Estela funeraria de Los Columbarios.** La fase de procesamiento de la estela funeraria ha sido fácil y rápida (unos 40 minutos), debido principalmente al bajo número de imágenes que ha sido necesario procesar para su posterior modelado 3D. En el primer modelo 3D que se realizó, las imágenes estaban en formato TIF por lo que su procesamiento fue lento, pero posteriormente al pasar las imágenes a formato JPG el proceso se agilizó. La estela funeraria se ha reconstruido de una manera correcta mediante este software, por lo que se ha ajustado perfectamente a los resultados que pretendíamos obtener. Mostramos varias imágenes de diferentes ángulos del modelo obtenido.



Figura 60: Modelo de la estela funeraria de Los Columbarios según 123D Catch.

6. Comparativa

Como se ha indicado a lo largo del TFG, se han testado dos aplicaciones IBM, ambas con ventajas e inconvenientes:

- **Agisoft PhotoScan**

Como ventajas señalar:

- Depuración y limpieza del modelo de forma rápida.
- Exportación del modelo de una manera sencilla.
- Resultados muy aceptables y correctos.

Los inconvenientes que se han tenido realizando el modelo mediante Agisoft son:

- Software comercial, necesitando, por tanto, de una cierta inversión económica. De todas formas es un software considerado de bajo coste, como ya se indicó en el apartado 3.2.
- Procesado de imágenes lento.
- Al ser una aplicación de escritorio, se necesita disponer de un ordenador potente para el procesado de imágenes.
- Cuando se usan muchas fotografías el tiempo de procesado pueden llevar varias horas, incluso días, con un PC de prestaciones medias, si se quiere una calidad muy alta.
- Dificultad media a la hora de la utilización de este software por las diversas opciones de las que dispone.

- **123D Catch**

Mediante esta opción, contamos con las siguientes ventajas:

- Software gratuito.
- Fácil utilización por las concretas opciones de procesamiento que dispone.
- No es necesario disponer de un PC especialmente potente, al realizar el procesado on-line.
- Procesado de imágenes más rápido que mediante Agisoft.
- Integración de los modelos en redes sociales.

Algunos de los inconvenientes encontrados usando este software, se mencionan a continuación:

- Es necesario disponer de una buena conexión de red.
- Exportación del modelo es complicada y con problemas para exportarlo con sus texturas.
- Proceso muy pausado en la depuración del modelo por no responder el programa correctamente cuando se está recortando la figura.
- Resultados no demasiados precisos, en algunos casos sin llegar a procesarse el modelo.
- Dificultad para recortar el modelo 3D, ya que este software no dispone de la opción de "*Deshacer*".

A continuación se matizan estas diferencias en los resultados obtenidos con ambas aplicaciones.

6.1 Formatos

6.1.1 Agisoft PhotoScan

Agisoft genera ficheros con formato PSZ, pudiendo exportar modelos, puntos, ortofotos y DEM.

El modelo obtenido mediante Agisoft puede ser exportado en los siguientes formatos: *OBJ*, *3DS*, *WRL*, *DAE*, *PLY*, *FBX*, *DXF*, *U3D*, *PDF*, y *KMZ*.

La nube de puntos la podemos exportar a los siguientes formatos: *OBJ*, *LAS*, *TXT*, *U3D*, *PDF*, y *PLY*.

En caso de exportar ortofotos, tenemos dos opciones: Exportar imagen JPG/TIFF/PNG o Exportar KMZ de Google Earth.

Además es posible subir modelos desde Sketchfab⁷, sitio web utilizado para compartir y visualizar contenido 3D on-line.

6.1.2 123D Catch

123D Catch ofrece menos opciones de exportación y tratamiento de formatos. Esta aplicación genera unos ficheros en formato 3DP. La nube de puntos no es posible guardarla y por lo tanto tampoco se dispone de la opción de exportar. El modelo sí es posible guardarlo y exportarlo mediante los formatos *OBJ*, *DWG* y *FBX*.

Obtenido el modelo en formato *OBJ*, automáticamente se generan varios archivos, un archivo en formato *MTL*, perteneciente a imágenes 3D y varias imágenes en formato *JPG*, que contienen las diferentes texturas del modelo. A modo de ejemplo se muestran algunas de estas imágenes.



⁷ <https://sketchfab.com/>

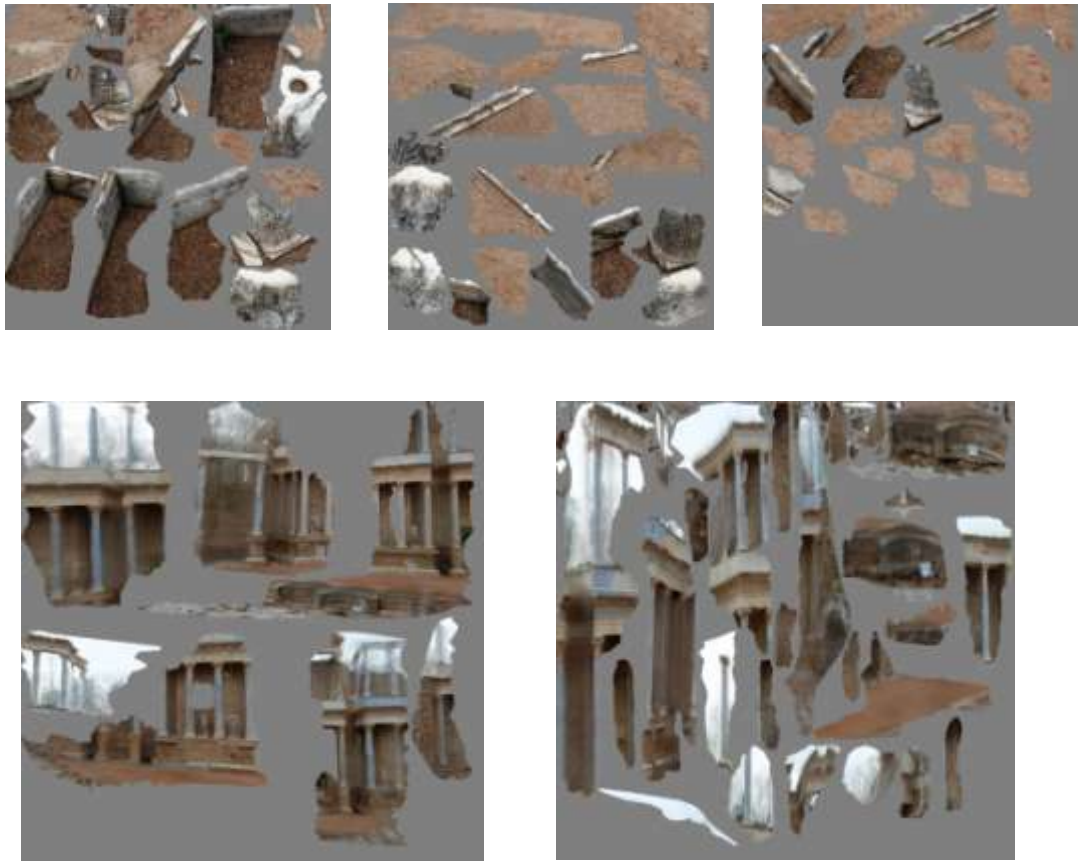


Figura 61: Diferentes texturas obtenidas de Estela, Fuente y Teatro Romano por 123D Catch.

Obtenidas las imágenes que contienen las diferentes texturas y piezas de la figura el modelo se reconstruye perfectamente y obtenemos como resultado de salida una imagen con la extensión *PNG*, que se han mostrado en apartados anteriores.

Para la confección de este proyecto se han exportados los modelos al formato *OBJ*, para posteriormente importarlos al software de Meshlab.

6.2 Exactitud métrica

No estaba en el objetivo de este trabajo hacer una comparativa de la exactitud métrica que se puede obtener en mediciones sobre un modelo creado con ambas aplicaciones. Ya existen estudios sobre el tema que se han referenciado al final del texto. El permiso que teníamos para acceder al recinto no contemplaba la medición de objetos, sólo su fotografiado. Además para un estudio métrico, quizás no eran los objetos adecuados por sus dimensiones e indefinición de bordes.

De todas formas algunos estudios [4] cifran la exactitud métrica de 123D Catch en orden de milímetros para estatuas y detalles arquitectónicos, exactitud de 1 a 2 cm para objetos de tamaño medio y en torno a 2 cm para objetos mayores, dependiendo siempre del número de fotografías tomadas y en condiciones bien controladas. En [9] se presenta una comparativa entre PhotoScan y otras aplicaciones de código abierto, analizando las diferencias entre el escaneo de diferentes objetos y estos sistemas IBM, obteniéndose desviaciones típicas del orden de centímetros.

6.3 Mallas

Uno de los primeros productos que generan ambos programas y que son susceptibles de exportar a otro software para continuar con su depuración, son las mallas. Entendemos por malla una superficie creada por un método tridimensional generado por un conjunto de vértices en un espacio virtual con un sistema de referencia propio. La malla se construye a partir de un mínimo de 3 vértices, que denominamos cara, y es la unidad básica de un polígono tridimensional.

En las tablas que siguen se comparan el número de caras y vértices generados en las mallas de cada objeto por cada software.

Agisoft PhotoScan		
Objeto	Nº total de caras	Vértices
Teatro Romano	635 641	321 808
Anfiteatro	595 346	302 205
Margarita Xirgu	16 715	8 436
Fuente	530 450	267 601
Capitel	127 287	63 957
Columna	52 616	26 496
Puerta	55 837	28 211
Estela Funeraria	45 939	23 180

Tabla 1: Número de caras y vértices obtenidos con Agisoft PhotoScan.

123 D Catch		
Objeto	Nº total de caras	Vértices
Teatro Romano	92 282	184 320
Anfiteatro	327 962	645 320
Margarita Xirgu	34 700	69 315
Fuente	181 226	361 442
Capitel	203 794	406 834
Columna	245 502	490 131
Puerta	80 994	161 392
Estela Funeraria	75 920	151 111

Tabla 2: Número de caras y vértices obtenidos con 123D Catch.

En general no se aprecia una pauta definida para diferenciar ambas aplicaciones según mallas y vértices pues depende de la calidad con que se hace cada modelo.

En la figura siguiente, a modo de ejemplo se muestra la vista de malla de la estela funeraria primero obtenida con PhotoScan y después con 123D Catch.



Figura 62: Malla de la estela funeraria obtenida con PhotoScan (izquierda) y 123D Catch (derecha).

6.4 Bondad del modelado

Agisoft PhotoScan permite comprobar una serie de parámetros sobre la creación de los modelos 3D. Así es posible obtener estadísticas de la malla con indicación del número de caras y vértices o bordes abiertos (figura siguiente), consultar el fichero Exif de la cámara, calibrar la cámara o saber qué foto ha dado error al procesarse.

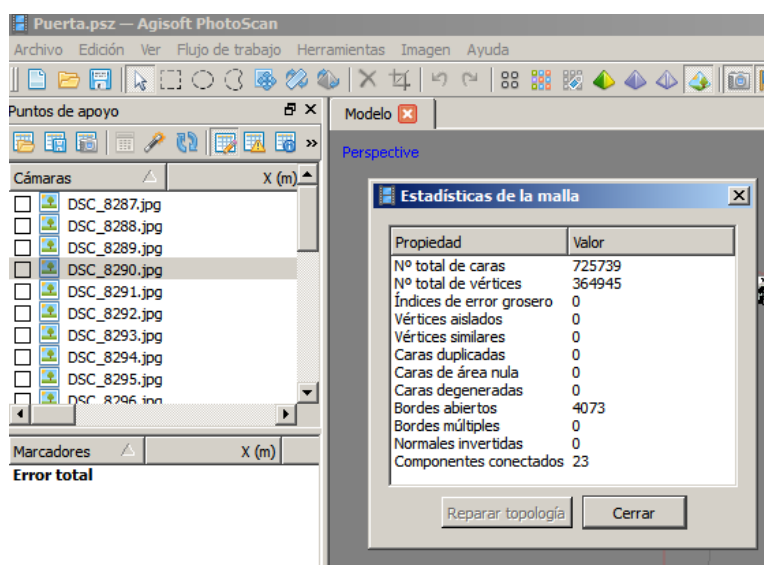


Figura 63: Estadísticas de la malla en Agisoft PhotoScan.

En nuestro caso, no se apreciaron errores a la hora de procesar las fotografías y al usarlas en formato JPG. Los parámetros de la cámara se obtienen automáticamente y pueden ser consultados, según se observa en la siguiente imagen.

Etiqueta	Tamaño	Orientada	Calo	Fecha y hora	Fabricante	Modelo	Distancia focal	F-stop	ISO	Velocidad de obtura
DSC_8287.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:1...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5.6	320	1/125
DSC_8288.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:1...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5.6	400	1/125
DSC_8289.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:1...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5	400	1/100
DSC_8290.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:1...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5	400	1/100
DSC_8291.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:1...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5	400	1/100
DSC_8292.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:1...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5	400	1/100
DSC_8293.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:1...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5	400	1/100
DSC_8294.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:1...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5	400	1/100
DSC_8295.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:2...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5	400	1/100
DSC_8296.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:2...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5	400	1/100
DSC_8297.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:2...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5.6	400	1/100
DSC_8298.jpg	3008x2000	✓		2015-03-11 11:2...	NIKON CORPORA...	NIKON D40	18	F/5.6	400	1/125

Figura 64: Parámetros de la cámara con Agisoft PhotoScan.

123D Catch carece de las opciones anteriores para chequear la bondad del resultado.

6.6 Resultados de salida

A continuación, consideraremos los diferentes resultados de cada uno de los modelos realizados, mediante cada programa. En las figuras que siguen se muestra en primer lugar o a la izquierda, la imagen del modelo obtenido con Agisoft PhotoScan y en segundo lugar o a la derecha, el modelo obtenido con 123D Catch.

- **Escena del Teatro Romano**

Mediante Agisoft, se ha obtenido un modelado 3D correcto, ya que se ha conseguido reconstruir perfectamente toda la escena del Teatro, pudiéndose apreciar perfectamente todas las columnas que lo constituyen.

A través de 123D Catch hemos obtenido un resultado de peor calidad debido principalmente a que la parte superior de las columnas no se han reconstruido perfectamente quedando algunas cortadas y no asemejándose el modelo a la realidad.





Figura 65. Reconstrucción del Teatro Romano.

- **Anfiteatro**

En el caso de Agisoft, hemos obtenido un resultado muy aceptable ya que se ha conseguido obtener la profundidad de los tres arcos y se ha reflejado perfectamente su graderío. Para la segunda opción, se ha obtenido un modelo menos correcto que con el anterior software ya que han aparecido más zonas incorrectas y sin texturas. Observamos que con Agisoft la reconstrucción del interior de las *carceles* no presenta zonas sin textura, cosa que sí sucede con 123D Catch.



Figura 66. Reconstrucción del Anfiteatro.

- **Escultura de Margarita Xirgu**

El modelado 3D realizado a esta figura ha sido bueno en ambos programas, ya que dicha estatua se ha reconstruido perfectamente pudiendo apreciar en ella hasta los detalles. Destacar que en PhotoScan se aprecia más claramente el pixelado del modelo que en 123D Catch por lo que habría que haber trabajado a resolución extra-alta.



Figura 67. Reconstrucción de la escultura de Margarita Xirgu.

- **Fuente**

El resultado obtenido mediante la realización del modelado 3D de este objeto con PhotoScan, no ha sido correcto debido a que como se ha mencionado anteriormente, la parte superior no se ha reconstruido perfectamente y ha quedado hueca. Por el contrario el acabado en 123D Catch sí ha sido correcto.



Figura 68. Reconstrucción de la fuente.

- **Capitel**

Tanto en Agisoft como en 123D, la parte superior de la columna no se ha cerrado correctamente por ser plana. En cualquier caso sí se ha obtenido un resultado muy correcto en la zona de las volutas.

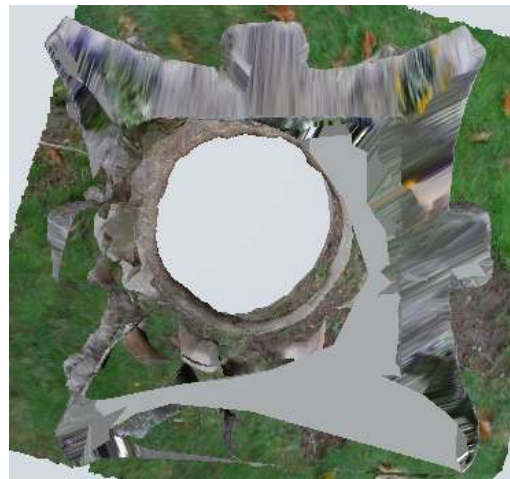




Figura 69. Reconstrucción del capitel.

- **Columna del Peristilo.**

El resultado con PhotoScan no tiene especial calidad pero no presenta agujeros en la parte superior. En este caso también nos hemos encontrado problemas al reconstruir la parte superior de la columna con 123D Catch, por ser plana, monocromática y sin elementos destacables como se ve en la figura de la derecha.



Figura 70. Reconstrucción de la columna del Peristilo.

- **Puerta de acceso a *Orchestra***

Para esta puerta se ha obtenido un resultado muy bueno en ambos casos. El interior del acceso está mejor reconstruido en 123D que en PhotoScan donde no se ha formado la textura.



Figura 71. Reconstrucción de la Puerta de acceso a la *Orchestra*.

- **Estela Funeraria de Los Columbarios.**

Este monumento se ha reconstruido perfectamente con PhtoScan, obteniendo un resultado muy preciso y bueno, en el cual podemos apreciar desde la textura de la figura hasta las inscripciones que ella contiene. La salida con 123D Catch es algo menos nítida en la zona de las inscripciones.



Figura 72. Reconstrucción de la estela funeraria.

7. Conclusiones

Los sistemas de modelado basado en imágenes (IBM, Image-Based Modeling) se están revelando como una técnica valiosa para la obtención de modelos 3D de objetos o escenas. Hasta la fecha, los modelos 3D se obtenían principalmente mediante escaneo (Range-Based Modeling) obteniendo un alto nivel de exactitud métrica y visual. Por contra los sistemas de escaneo 3D suelen necesitar un instrumental caro y exige un procesamiento de los datos por un usuario experto.

Los sistemas IBM no necesitan de un material especialmente complejo o caro (cámara de fotos) y al ser sistemas altamente automatizados, el procesamiento de los datos permite ser realizados por usuarios no expertos.

Los avances en visión computerizada y en robótica han permitido el desarrollo de numerosas aplicaciones comerciales y gratuitas de fácil uso y con unas cualidades métricas razonables para muchos propósitos. Muchas de estas aplicaciones se basan en servicios web donde se procesan en línea las imágenes tomadas, pudiendo después compartirse en Internet con una clara visión de red social.

En este trabajo se han comparado dos de estas aplicaciones, una comercial de escritorio (Agisoft PhotoScan) y otra gratuita basada en web (123D Catch). Los objetos de estudio han sido ocho elementos arquitectónicos pertenecientes al conjunto arqueológico de Mérida, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1993. A pesar de ser objetos relativamente similares, todos pertenecientes a la arqueología romana y con texturas similares, los resultados han proporcionado materia suficiente para realizar la comparativa entre estas dos aplicaciones, objetivo de este trabajo fin de grado.

El patrimonio cultural es una de las disciplinas que más se ha beneficiado de los avances en generación de modelos 3D, pues es posible estudiar un elemento patrimonial sin estar presente en su ubicación y sin peligro de daño por contacto directo. Además, la difusión de modelos 3D a través de Internet ayuda al conocimiento del patrimonio, teniendo una componente, por qué no, de publicidad y reclamo turístico del mismo. También se debería destacar la importancia de estas herramientas para educación en niveles básicos y medios de la enseñanza, pues se usan herramientas atractivas que presentan la historia de una forma interactiva, con el uso de redes sociales, medio habitual de comunicación de las nuevas generaciones.

8. Agradecimientos

Agradecer al Consorcio Ciudad Monumental de Mérida, en las persona de Don Miguel Alba Calzado y Don Antonio Barroso Martínez las facilidades dadas para la realización de las fotografías de este Trabajo Fin de Grado en el recinto del Teatro Romano de Mérida y la Casa del Mitreo.

9. Bibliografía

- [1] B. K. Means, A. McCuiston, and C. Bowls, "Virtual Artifact Curation of the Historical Past and the Next Engine Desktop 3D Scanner," *Technical Briefs in Historical Archaeology* vol. 7, pp. 1-12, 2013.
- [2] H. Park, S. Lim, J. Trinder, and R. Turner, "3D surface reconstruction of terrestrial laser scanner data for forestry," in *IEEE IGARSS*, Honolulu, 2010, pp. 4366-4369.
- [3] A. Pesci, G. Casula, and E. Boschi, "Laser scanning the Garisenda and Asinelli towers in Bologna (Italy): Detailed deformation patterns of two ancient leaning buildings," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 12, pp. 117-127, 2011.
- [4] C. Santagati, L. Inzerillo, and F. Di Paola, "Image-based modeling techniques for architectural heritage 3D digitalization: Limits and potentialities," in *XXIV International CIPA Symposium*, Strasbourg, France, 2013, pp. 555-560.
- [5] A. Koutsoudis, B. Vidmar, G. Ioannakis, F. Arnaoutoglou, G. Pavlidis, and C. Chamzas, "Multi-image 3D reconstruction data evaluation," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 15, pp. 73-79, 2014.
- [6] T. P. Kersten and M. Lindstaedt, "Image-Based Low-Cost Systems for Automatic 3D Recording and Modelling of Archaeological Finds and Objects," in *Euromed 2012, Progress in Cultural Heritage Preservation*, Limassol, Cyprus, 2012, pp. 1-10.
- [7] G. Verhoeven, "Taking ComputerVision Aloft -Archaeological Three-dimensional Reconstructions from Aerial Photographswith PhotoScan," *Archaeological Prospection*, vol. 18, pp. 67-73, 2011.
- [8] E. Fratus de Balestrinia and F. Guerra, "New Instruments for survey: on line sotware for 3D reconstruction from images " presented at the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Trento, Italy, 2011.
- [9] F. Remondino, S. Del Pizzo, T. P. Kersten, and S. Troisi, "Low-Cost and Open-Source Solutions for Automated Image Orientation – A Critical Overview," presented at the Euromed 2012, 2012.
- [10] J. M. Caldera Cordero, "Evaluación y protocolo de eficiencia de las técnicas de modelado 3D basadas en imágenes digitales," *Trabajo Fin de Máster. Centro Universitario de Mérida. Universidad de Extremadura*, 2015.