



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica

Modelado 3D de una escultura mediante Fotogrametría de
Objeto Cercano

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Wajjari, Anas

Tutor/a: Balaguer Puig, Matilde

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

Trabajo Fin de Grado

Modelado 3D de una escultura mediante
fotogrametría de objeto cercano

Autor

Anas Wajjari

Tutora

Matilde Balaguer Puig

Universidad Politécnica de Valencia

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica**

Septiembre 2023

Agradecimiento

Quiero agradecer primero a mis personas favoritas en este mundo, a mi papá, a mi mamá y a mis hermanas por todo el apoyo y el cariño recibido todos estos años, os quiero mucho.

Agradecer a mi tutora, todo el apoyo y la ayuda brindada en la elaboración este trabajo fin de grado, gracias por estar siempre allí, muchas gracias.

También mis agradecimientos a todas las personas que se han cruzado en mi camino a lo largo de la carrera, profesores, compañeros y amigos

Un especial agradecimiento a mi abuela que desde el cielo me ha apoyado siempre.

Compromiso

“Este proyecto ha sido realizado en su totalidad por el autor de este, el cual no ha plagiado ningún punto de otro trabajo académico, y toda la información extraída de otras fuentes ha sido entrecomillada y citada, además de añadida en la bibliografía ”

En Valencia, a 8 de septiembre de 2023

A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is stylized and appears to be the name 'Anas Wajjari'.

Anas Wajjari

Resumen

El objetivo del trabajo es la realización del modelo 3D de una escultura empleando técnicas de Fotogrametría de Objeto Cercano y láser escáner. Se seleccionará una de las esculturas pertenecientes al *Museo Campus Escultòric* de la Universitat Politècnica de València situada en la zona ajardinada del campus de Vera.

La obtención de los datos para el modelado se hará con una cámara fotográfica y también con láser escáner. Para ambos instrumentos se seguirá un flujo de trabajo que comienza por la selección del objeto, la planificación de toma de datos, el tratamiento, la depuración y el modelado 3D, y finalmente el análisis y comparación de los resultados obtenidos. También se realizará una georreferenciación espacial del objeto mediante GNSS.

Palabras clave: Fotogrametría de Objeto Cercano, Láser escáner, modelado 3D, Esculturas, cámara fotográfica, georreferenciación.

Abstract

The objective of this project is the making of the 3D model of a sculpture using Near Object Photogrammetry techniques and laser scanner. One of the sculptures belonging to the Museo Campus Escultòric of the Universitat Politècnica of Valencia and situated in the green area of the Vera Campus will be used.

The data collection for the modelling will be carried out with a photographic camera and with a laser scanner. For both instruments a similar workflow will be followed, starting with the object selection, the data collection planning, the treatment, depuration and 3D modelling; and finishing with the analysis and comparison of the obtained results. A spatial georeferencing of the object will also be undertaken through GNSS.

Keywords: Near Object Photogrammetry, Laser scanner, 3D modelling, sculptures, photographic camera, georeferencing.

Resum

L'objectiu del treball és la realització del model 3D d'una escultura emprant tècniques de Fotogrametria d'Objecte Pròxim i làser escàner. Se seleccionarà una de les escultures pertanyents al Museu Campus Escultòric de la Universitat Politècnica de València situada en la zona enjardinada del campus de Vera.

L'obtenció de les dades per al modelatge es farà amb una càmera fotogràfica i també amb làser escàner. Per a tots dos instruments se seguirà un flux de treball que comença per la selecció de l'objecte, la planificació de presa de dades, el tractament, la depuració i el modelatge 3D, i finalment l'anàlisi i comparació dels resultats obtinguts. També es realitzarà una georreferenciació espacial de l'objecte mitjançant GNSS.

Paraules clau: Fotogrametria d'Objecte Pròxim, Làser escàner, modelatge 3D, Escultures, càmera fotogràfica, georreferenciació

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Cámara Canon 2000D. Fuente: quecamarareflex.com	17
Ilustración 2: Láser escáner. Fuente: Elaboración propia.	18
Ilustración 3: Componentes GPS Leica Zeno FLX100 Smart Antena. Fuente: OMtools.....	19
Ilustración 4: Tablet Leica Zeno Tab 2. Fuente: Elaboración propia	19
Ilustración 5: Planificación proyecto. Fuente: Elaboración propia.	21
Ilustración 6: flujo de trabajo. Fuente: Elaboración propia.	22
Ilustración 7: Croquis en planta. Fuente: Elaboración propia.	23
Ilustración 8: Croquis en alzado. Fuente: Elaboración propia.....	24
Ilustración 9: Escalera empleada en la toma de fotografías. Fuente: Elaboración propia.	24
Ilustración 10: Patrón para calibrar la cámara de Agisoft Metashape Professional. Fuente: Elaboración propia.	25
Ilustración 11: Parámetros resultantes de calibración cámara en Agisoft Metashape Professional. Fuente: Elaboración propia.....	25
Ilustración 12: Parámetros de la cámara estimados en Agisoft Metashape Professional. Fuente: Elaboración proia	27
Ilustración 13: Resultado orientación de imágenes en Agisoft Metashape Professional. Fuente: Elaboración propia.....	28
Ilustración 14: Nivel de confianza de la nube de puntos en Agisoft Metashape Professional. Fuente: Elaboración propia.....	29
Ilustración 15: Nube de puntos densa en Agisoft Metashape. Fuente: Elaboración propia.	29
Ilustración 16: Modelado 3D. Fuente: Elaboración propia.	31
Ilustración 17: Resultado del registro en Realworks. Fuente: Elaboración propia.	33
Ilustración 18: Proceso de segmentación en Realworks. Fuente: Elaboración propia.	33

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

Ilustración 19: Nube de puntos densa en Realworks. Fuente: Elaboración propia.	34
Ilustración 20: Suavizado nube de puntos en 3D Reshaper. Fuente: 3D Elaboración propia.	35
Ilustración 21: Resultado del mallado en 3D Reshaper. Fuente: Elaboración propia.	35
Ilustración 22: Rellenos de huecos en 3D Reshaper. Fuente: Elaboración propia	36
Ilustración 23: Modelado 3D. Fuente: Elaboración propia.	36
Ilustración 24: Proceso del texturizado en 3D Reshaper. Fuente: Elaboración propia	37
Ilustración 25: Resultado final del texturizado en 3D Reshaper. Fuente: Elaboración propia	37
Ilustración 26: Resultado del escalado (93 cm) en Meshlab. Fuente: Elaboración propia	38
Ilustración 27: Resultado comparación nubes de puntos (C2C) en cm en CloudCompare. Fuente: Elaboración propia	39
Ilustración 28: Toma de datos con el GPS. Fuente: Elaboración propia	42
Ilustración 29: Gripos Profesionales. Fuente: BOE convenio Ingenieros y Oficinas técnicas del año 2022	43

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información del objeto. Fuente:Elaboración propia.	16
Tabla 2: Características de la cámara Canon 2000D. Fuente: Elaboración propia	17
Tabla 3: Tabla: Características destacables Trimble Tx6. Fuente: Elaboración propia.	18
Tabla 4: Características de la imagen tomada. Fuente: Elaboración propia.....	27
Tabla 5: Coordenadas de las cuatro esquinas escultura. Fuente: Elaboración propia	41
Tabla 6: Tabla salarial, Fuente: BOE convenio de Ingenieros y Oficinas técnicas del año 2022.....	43
Tabla 7: Presupuesto. Fuente: Elaboración propia.....	44

INDICE DE CONTENIDO BREVE

1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVO GENERAL	14
3. OBJETO DE ESTUDIO	15
4. INSTRUMENTACIÓN Y SOFTWARE	17
5. DESARROLLO	21
6. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS	38
7. GEORREFERENCIACIÓN	41
8. PRESUPUESTO	43
9. CONCLUSIONES	45
10. BIBLIOGRAFÍA	46
11. ANEXOS	47

INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVO GENERAL	14
3. OBJETO DE ESTUDIO	15
3.1. LOCALIZACIÓN	15
3.2. DESCRIPCIÓN	15
4. INSTRUMENTACIÓN Y SOFTWARE	17
4.1. INSTRUMENTACIÓN	17
4.1.1. Cámara fotográfica	17
4.1.2. Láser escáner	18
4.1.3. GPS	19
4.2. SOFTWARE	20
5. DESARROLLO	21
5.1. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	21
5.2. FLUJO DE TRABAJO	22
5.3. MODELIZACIÓN MEDIANTE CÁMARA FOTOGRÁFICA	23
5.3.1. Adquisición de imágenes	23
5.3.2. Depuración de datos	26
5.3.3. Proceso en Agisoft Metashape Professional	26
5.3.3.1. Carga de imágenes	26
5.3.3.2. Orientación de imágenes	27
5.3.3.3. Creación de la nube de puntos densa	28
5.3.3.4. Creación de mallado	30
5.3.3.5. Creación de textura	30
5.3.3.6. Producto final	30
5.4. MODELIZACIÓN MEDIANTE LÁSER ESCÁNER.	32
5.4.1. Adquisición de datos	32
5.4.2. Procedimiento en Realworks	32
5.4.2.1. Carga de datos y registro	32
5.4.2.2. Limpieza de la nube de puntos	33
5.4.3. Procedimiento en 3D Reshaper.	34
6. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS	38
7. GEORREFERENCIACIÓN	41
8. PRESUPUESTO	43

**Modelado 3D de una escultura mediante
fotogrametría de objeto cercano**

9. CONCLUSIONES	45
10. BIBLIOGRAFÍA	46
11. ANEXOS	47

1. INTRODUCCIÓN

La primera definición que se podría encontrar de fotogrametría tiene como origen tres raíces griegas;

- PHOTO: LUZ
- GRAMMA: ESCRITURA O DIBUJO
- METRON: MEDIDA

Por lo tanto, la definición literal de la palabra Fotogrametría sería; "la medida de lo que escribe o dibuja la luz".

Existen diferentes definiciones de la fotogrametría, entre ellas se encuentra la definición de La ASPRS *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, que define la fotogrametría como " el arte, ciencia y tecnología de obtener información fiel de objetos físicos y su entorno a través de procesos de grabación, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos" .

La fotogrametría engloba métodos de medición e interpretación de imagen para derivar la forma y localización de un objeto a partir de una o más fotografías de dicho objeto. Esta definición nos permite diferenciar entre dos ámbitos:

- Fotogrametría métrica: Obtener coordenadas 2D y 3D a partir de mediciones sobre la imagen.

- Fotogrametría interpretativa: Reconocimiento e identificación de objetos a partir del análisis espectral de imágenes digitales.

Desde los comienzos, los Profesionales que se dedican a la fotogrametría intentaron buscar un campo de aplicación fuera de la pura obtención de mapas topográficos. Dichas aplicaciones se denominaron de distintas maneras tales como "Fotogrametría no Topográfica", "Fotogrametría no Cartográfica" o "Fotogrametría de Objeto Cercano".

Este último término, "Fotogrametría de objeto cercano" hace referencia a todos aquellos objetos cuya distancia a la cámara (sensor) sea inferior a 300m. (Manual of photogrammetry, cuarta edición, 1980).

Para la obtención de un modelado 3D de un objeto cercano, se aplica la técnica llamada *Structure From Motion* (SfM) que se ha desarrollado desde la década de 1980 siendo una herramienta útil para generar modelos 3D desde imágenes 2D. SfM utiliza algoritmos para identificar características comunes en una colección de imágenes digitales solapadas entre sí, y calcula tanto la ubicación como la orientación de la cámara en el momento de la toma. Basándose en estos cálculos las imágenes solapadas se pueden utilizar para reconstruir un modelo de

nubes de puntos 3d general del objeto, superficie o escena fotografiados. (Structure from Motion in the Geosciences, 2016).

El modelo 3d obtenido del método previamente mencionado, generalmente aumenta su resolución utilizando *Multiview Stereo* (MVS), de este modo, para completar el proceso y obtener buenos resultados con ambas y se conocen como SfM-MVS. Una nube de puntos generada por SfM es generalmente solo un punto intermedio en la producción de nubes de puntos mucho más densas utilizando MVS. El objetivo del MVS es dar una reconstrucción de la escena 3d completa desde una colección de imágenes de cámara con parámetros intrínsecos y extrínsecos conocidos.

Para ponerse en el marco del presente trabajo fin de grado, una de las aplicaciones de la fotogrametría es la obtención de la nube de puntos 3D aplicando las técnicas *Structure from Motion* y *MultiView Stereo* (SfM-MVS). Para ello, se plantea la obtención del modelado 3D de una escultura mediante una cámara fotográfica para la aplicación de la técnica y un láser escáner como instrumento de referencia dado su precisión conocida y fiable.

El *Museo Campus Escultòric* de la universidad politécnica de Valencia, que dispone de una página web de todas las esculturas existentes en el campus de vera presentadas mediante una breve descripción y una fotografía. De este surge la idea de hacer un modelado 3D de una escultura mediante dos metodologías que puede servir como base si se decidiese algún día realizar el modelado de todas las existentes e integrarlas en un portal.

Como estudiante del grado en ingeniería de geomática y topografía, tengo la suerte de haber visto distintos campos que abarca la especialidad, como la topografía clásica, la geodesia, teledetección o la fotogrametría.

Quiero expresar mi especial interés para realizar este tipo de proyecto relacionado con la fotogrametría, si bien es un campo muy amplio y cada vez hay más demanda por el potencial que tiene en distintas aplicaciones como la obtención de gemelos digitales, visitas 3D o en mi caso el modelado 3D.

2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente TFG, es realización del modelado 3D de una escultura mediante dos metodologías distintas, primero con una cámara fotográfica y segundo con un láser escáner que servirá como instrumento de referencia dado su precisión conocida, además se procederá a la georreferenciación de dicha escultura mediante GNSS.

Como objetivos específicos:

- Exponer los distintos instrumentos y distintos programas empleados para la obtención del modelado 3D.
- Obtener la nube de puntos 3D, la malla y el modelado texturizado mediante ambas metodologías.
- Comparación y análisis de los resultados obtenidos.

3. OBJETO DE ESTUDIO

3.1. LOCALIZACIÓN

El objeto elegido es una de las esculturas situadas en el campus de vera de la universidad politécnica de valencia. Se trata del Yunque/2001 que está situado en la zona ajardinada del campus. Ver plano de emplazamiento en Anexo 1.

3.2. DESCRIPCIÓN

La escultura Yunque/2001 tiene un tamaño medio con una geometría compuesta por partes planas y otras partes que presentan una curvatura convexa, puesta sobre un cubo rectangular de 90 cm de ancho x 93 cm largo, hecha de material de bronce.

“La obra representa un yunque, símbolo de la tierra y la materia, como instrumento utilizado por numerosos artistas y que, según la mitología clásica, el yunque de la fragua de Efestos-Vulcano fue testigo del nacimiento de las Musas, convirtiéndose así en símbolo de las Bellas Artes. Se trata de una escultura de corte objetual, precisa y rotunda, perteneciente a la serie sobre los yunques que el artista inició en París” (Museo Campus Escultòric, cultura.upv.es)

Para la elección del objeto se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- La existencia de una geometría que presente cierta irregularidad, es decir, que no sea completamente plana, con el fin de poder analizar los resultados de manera adecuada.
- Estar situado en un entorno despejado que facilitaba el acceso con los dos equipos a utilizar.
- Un elevado estado de conservación sin deterioro considerable.

**Modelado 3D de una escultura mediante
fotogrametría de objeto cercano**


AUTOR	Juan Romero de Terreros	
TÍTULO	Yunque	
AÑO	2001	
DIMENSIONES	160 x 105 cm	
MATERIAL	Bronce	
UBICACIÓN	Campus de Vera (UPV), Valencia	

Tabla 1: Información del objeto. Fuente:Elaboración propia.

4. INSTRUMENTACIÓN Y SOFTWARE

4.1. INSTRUMENTACIÓN

4.1.1. Cámara fotográfica

La cámara empleada es la Canon EOS 2000D, a continuación, se muestran las características:



Ilustración 1: Cámara Canon 2000D. Fuente: quecamarareflex.com

Sensor	CMOS APS-C (22.3 x 14.9 mm) 24.1 megapixels ISO mínima: 100 ISO máxima: 6400 (12.800 en modo extendido)
Pantalla LCD	Tamaño: 3 pulgadas Fija (no articulada) No táctil
Sistema de enfoque automático AF	9 puntos de enfoque, 1 de ellos en cruz (cross type) situado en el centro.
Filtro paso bajo (OLPF)	Sí, para evitar efecto Moiré (patrones no deseados)
Batería	500 disparos
Vídeo	Full HD 1080/30p Pantalla articulada: No Conector para micrófono externo: No
Otras características	Conexión WiFi + NFC

Tabla 2: Características de la cámara Canon 2000D. Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Láser escáner

El láser escáner es un instrumento que se basa en la tecnología LIDAR, captura datos de forma masiva. Obtiene una nube de puntos tridimensional formada por millones de puntos con su información de color RGB, en base a las distancias y ángulos capturado mediante un haz de luz.

Existen varias opciones en el mercado de distintos fabricantes que ofrecen varios modelos. Se elige el modelo dependiendo de la precisión que requiere el trabajo.

En el presente proyecto, se optó por el Laser escáner Trimble TX6 disponible en la escuela que ofrece precisión de +/- 2 mm.

A continuación, se detallan las características más destacables:

Principio de escaneado	Espejo rotativo vertical
Velocidad de escaneado	500.000 puntos por segundo
Alcance máximo	80 m en la mayoría de las superficies con actualización opcional de 120 m
Precisión	+/- 2 mm
Longitud de onda láser	1,5 μ m
Peso	10,7 kg sin batería / 11,2 kg con batería
Peso de la batería	0,46 kg
Tiempo de escaneado por batería	>2 horas
Cámara HDR integrada	10 megapíxeles de resolución

Tabla 3: Tabla: Características destacables Trimble Tx6. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 2: Láser escáner. Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. GPS

El gps utilizado es el "Leica Zeno FLX100 Smart Antena". Sus dos principales componentes son la antena Leica Zeno FLX100 y la tablet Leica Zeno Tab 2. Se puede manejar usando dos aplicaciones, Leica Zeno connect y Tcpgps, se explicará el procedimiento más adelante.



Ilustración 3: Componentes GPS Leica Zeno FLX100 Smart Antena. Fuente: OMtools

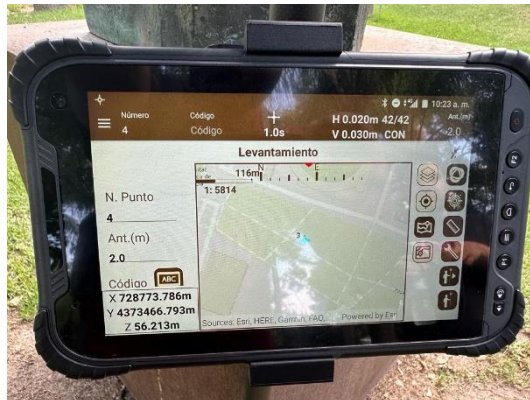


Ilustración 4: Tablet Leica Zeno Tab 2. Fuente: Elaboración propia

4.2. SOFTWARE

En el desarrollo del proyecto se manejaron varios softwares:

- **Trimble Realworks**: Empleado para extraer la nube de puntos de los datos crudos tomados en el campo con el láser escáner trimble TX6.

- **3D Reshaper**: Empleado en la obtención del modelado 3D a partir de la nube de puntos obtenida en Trimble Realworks

- **Agisoft Metashape Professional**: Anteriormente conocido como *Photoscan*, empleado en su versión académica. Programa muy utilizado en la fotogrametría de objeto cercano. Con él, se ha realizado todo el proceso relacionado en la obtención del modelado 3D a partir de fotografías.

- **Meshlab**: Un software de licencia gratuita, ayudó en un paso previo a la comparación entre las dos nubes de puntos obtenidas con las distintas metodologías para darles escala

- **CloudCompare**: Como su nombre indica, compara dos nubes de puntos y ofrece información de distancia entre las nubes y las presenta visualmente para que sea interpretable.

5. DESARROLLO

5.1. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la fotogrametría es imprescindible una adecuada planificación del proyecto, que se debe ajustar a varios factores, como la finalidad del proyecto, la precisión requerida, el objeto de estudio, la instrumentación disponible y el coste.

La precisión varía dependiendo de la finalidad del proyecto, en este caso, como el objetivo es obtener un modelado 3D que podrá ser introducido en una página web y que no se va a imprimir, no se requiere tanta precisión. Aun así y a la vista de la instrumentación empleada, la precisión es milimétrica, que, aunque no es condición para alcanzar el objetivo, se considera satisfactoria.

El objeto de estudio y la instrumentación disponible, ya se mencionó anteriormente y el coste del proyecto, se detallará más adelante.

Se puede resumir el proyecto en tres fases:

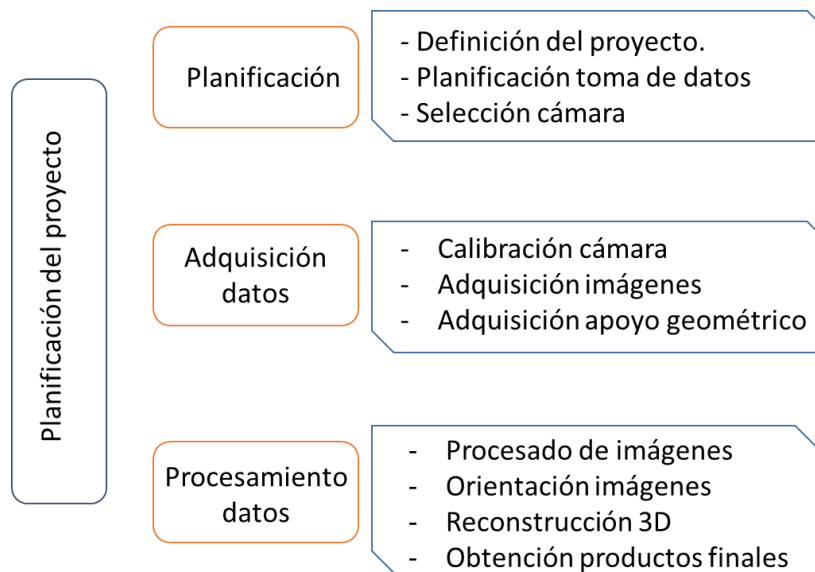


Ilustración 5: Planificación proyecto. Fuente: Elaboración propia.

5.2. FLUJO DE TRABAJO

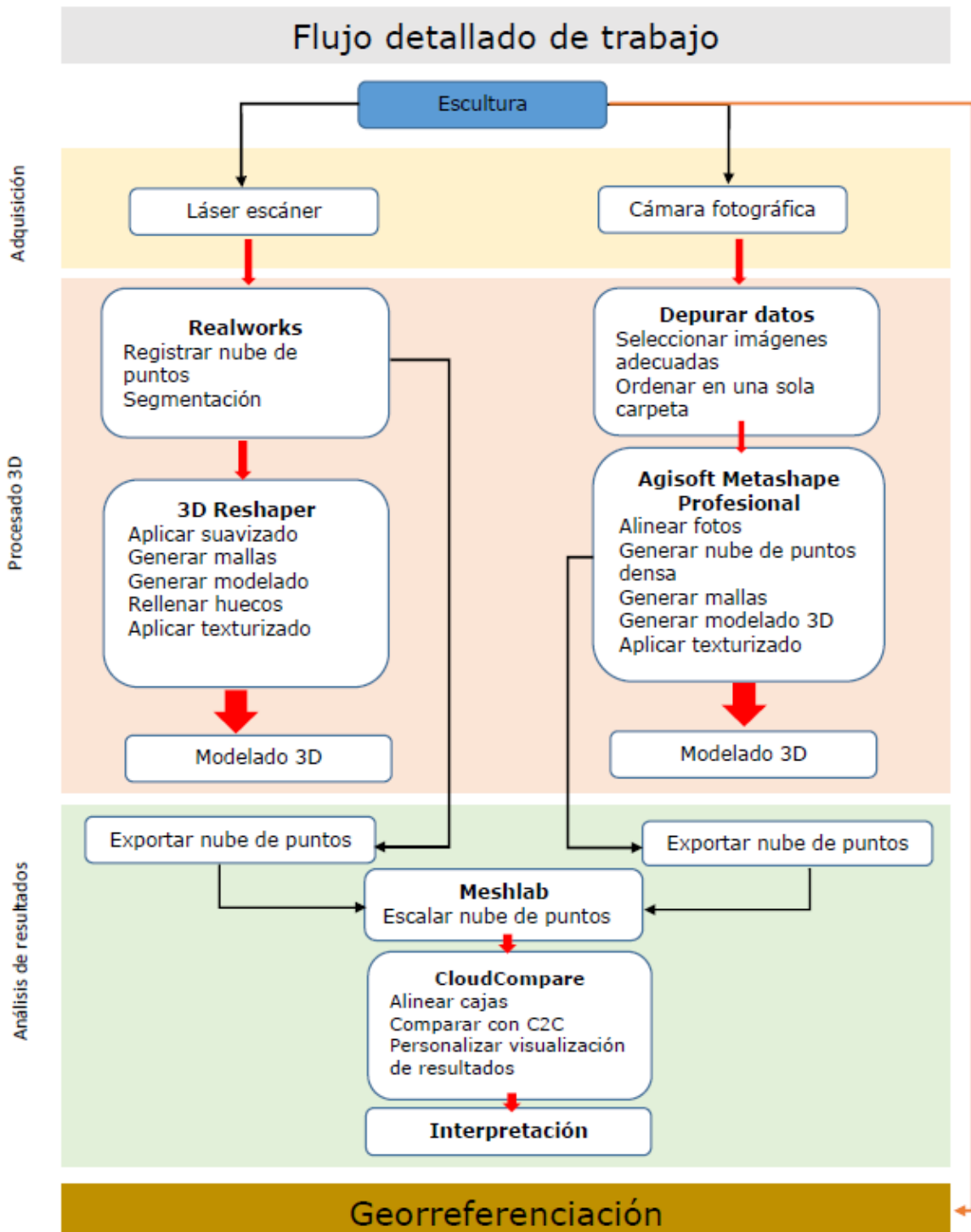


Ilustración 6: flujo de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

5.3. MODELIZACIÓN MEDIANTE CÁMARA FOTOGRÁFICA

5.3.1. Adquisición de imágenes

Una fase fundamental a la hora de obtener un resultado óptimo y adecuado a lo deseado. La toma de fotos ha de cubrir el objeto por completo para que sea posible la obtención del modelado 3D.

Las fotografías se tomaron siguiendo un patrón de 4 anillos, el primero de ellos a 50 cm de altura del suelo, el segundo a 100 m, el tercero a 150 cm y el último se tomó cubriendo la parte superior de la escultura.

Se ha establecido el suficiente solape entre las fotos para asegurar la máxima redundancia, es decir, puntos que aparecen en más de tres imágenes.

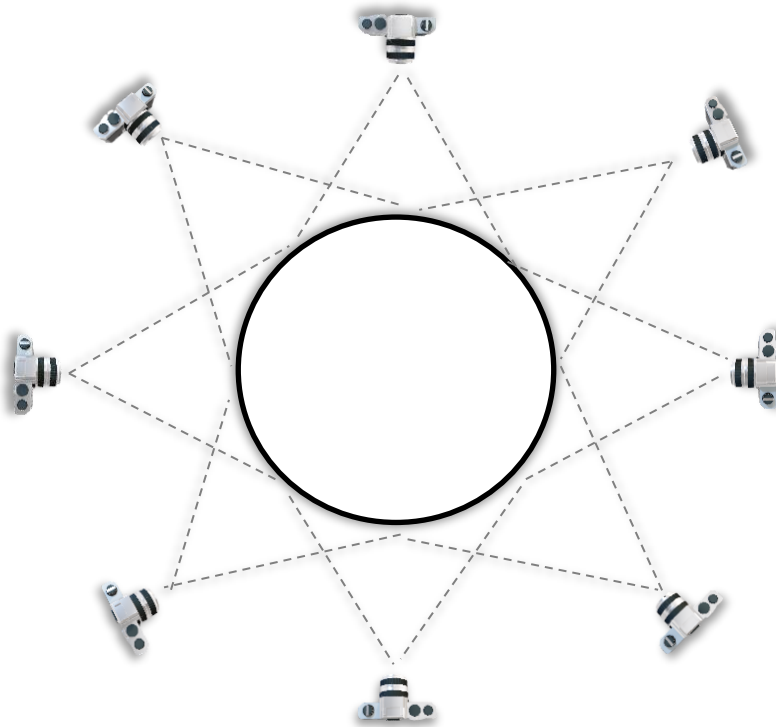


Ilustración 7: Croquis en planta. Fuente: Elaboración propia.

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

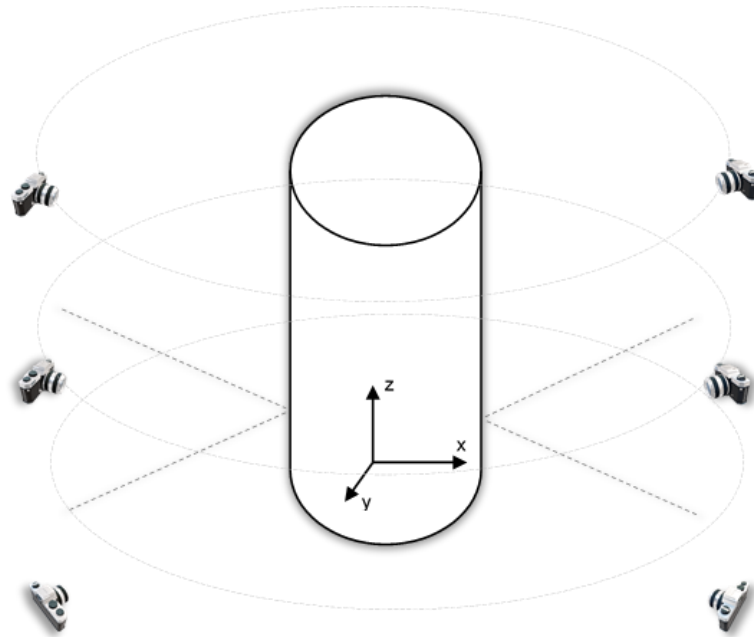


Ilustración 8: Croquis en alzado. Fuente: Elaboración propia.

Por la altura que presenta el objeto, ha sido necesario el uso de una escalera para poder llegar a la parte superior.

La ubicación de la misma, como hemos mencionado, es de fácil acceso, sin embargo, está rodeada de arbolado presentando así el inconveniente de la sombra reflejada y de las ramas de un árbol que está al lado. Para solventar el primer problema, se ha optado por tomar las fotografías en las primeras horas de la mañana, aunque no se ha podido solucionar en su totalidad ya que en cualquier hora del día siendo verano habrá sombra en alguna zona del objeto, algo que veremos reflejado en el resultado del texturizado. El segundo, se ha solventado con la ayuda de un compañero que aguantó las ramas hasta que se han tomado las fotografías.



Ilustración 9: Escalera empleada en la toma de fotografías. Fuente: Elaboración propia.

Normalmente, en esta fase se debe tomar fotos a un patrón para calibrar la cámara, pero en este caso no ha sido necesario debido a que

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

los parámetros de la cámara están introducidos en el software utilizado, por lo tanto, la misma se calibra automáticamente.

Como apoyo geométrico, se han tomado dos medidas de la base de la estructura, de medidas 90 cm de ancho x 93 cm de largo para dar escala al proyecto.

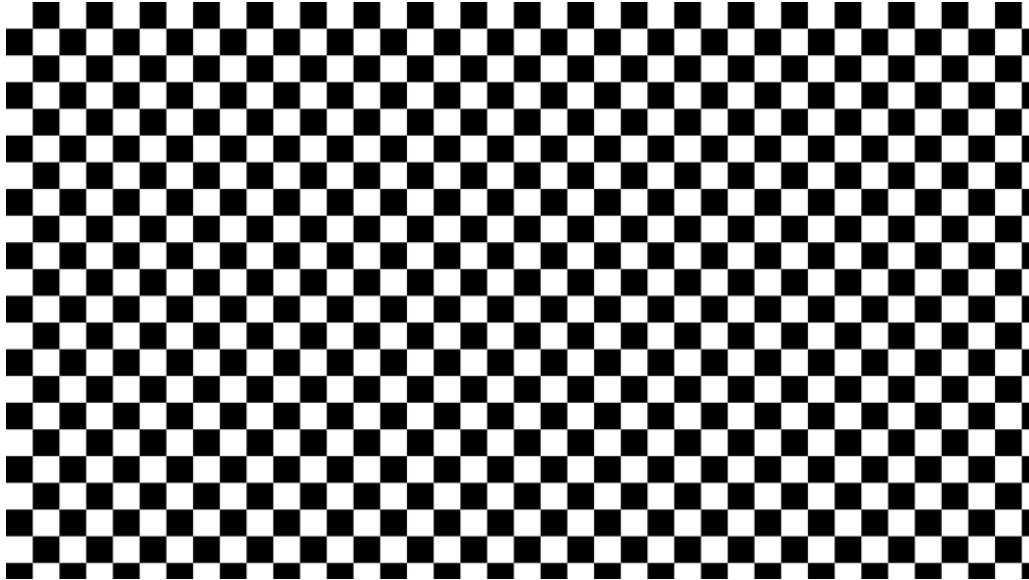


Ilustración 10: Patrón para calibrar la cámara de Agisoft Metashape Professional. Fuente: Elaboración propia.

Calibración de cámara

Tipo de cámara: Normal

Tamaño de píxel en sensor (mm): 0.00377296 x 0.00377296

Distancia focal (mm): 33

Compensación del rolling-shutter Cámara analógica con marcas fiduciales

Valores iniciales | Valores ajustados | Bandas | GPS/INS offset

Tipo: Automático

f: 8746.45228 cx: 0

k1: 0 cy: 0

k2: 0 p1: 0

k3: 0 p2: 0

k4: 0 b1: 0

b2: 0

Parámetros fijos: Ninguno Seleccionar...

Parámetros variantes por foto: Ninguno Seleccionar...

Cámara	Resolución	Modelo de cámara	Distancia focal	Fecha y hora
IMG_3689	6000x4000	Canon EOS 2000D	33	2023:06:22 12:48:37
IMG_3691	6000x4000	Canon EOS 2000D	33	2023:06:22 12:48:56
IMG_3697	6000x4000	Canon EOS 2000D	33	2023:06:22 12:53:04
IMG_3698	6000x4000	Canon EOS 2000D	33	2023:06:22 12:53:22
IMG_3703	6000x4000	Canon EOS 2000D	33	2023:06:22 12:54:24

Aceptar Cancelar

Ilustración 11: Parámetros resultantes de calibración cámara en Agisoft Metashape Professional. Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Depuración de datos

En la fase de planificación y adquisición de imágenes, se han tomado 114 fotografías. En esta fase, se trata de depurar las fotografías, eliminando las repetidas o mal tomadas.

También se ordenan y se guardan en una sola carpeta.

5.3.3. Proceso en Agisoft Metashape Professional

El software trabaja en un orden claro y muy intuitivo diseñado para cualquier usuario, aunque no tenga conocimientos previos en fotogrametría. Utiliza un flujo de trabajo agrupado en una pestaña con varias herramientas denominada "flujo de trabajo". A simple vista parece todo relativamente sencillo y no es más que seguir dicho flujo de trabajo ordenadamente y que todo se hace automático, pero se ha de decidir la calidad deseada al final del proceso. El programa dispone de varias calidades, la mínima, baja, media, alta o extra alta. Decidirse por la más alta tiene un coste de tiempo y de almacenamiento, cuánta más calidad se requiere más alto es el coste de ambos.

Otra limitación, es la cantidad limitada de fotos permitidas por cámara, con un máximo de 999 imágenes, por eso es recomendable crear grupos de cámaras. También se le añade la limitación de número de puntos en una nube.

En este proyecto, al disponer de tiempo y almacenamiento suficiente se ha optado por la calidad alta en todo el proceso y no ha sido necesarios agrupar las imágenes al usar un número por debajo del que recomienda el propio software fijado en 100 imágenes.

5.3.3.1. Carga de imágenes

El primer paso en Agisoft Metashape Professional es la carga de imágenes, que puede ser seleccionando imágenes una a una o indicando una carpeta dónde se encuentren todas las imágenes que se necesitan. En este caso, se optó por indicar la ruta de la carpeta resultante de la fase de depuración realizada anteriormente. Se emplearon 88 fotografías, de las que el propio programa estima la calidad obteniendo sus características de calidad fotográfica, distancia focal, ISO entre otras. Estos datos podrían resultar interesantes en caso de que no se hubiese revisado manualmente cada una de las fotografías tomadas.

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

Dimensiones	6000x4000 pixeles
Resolución horizontal	72 ppp
Resolución vertical	72 ppp
Profundidad en bits	24
Punto F	f/5
Tiempo de exposición	1/125
Distancia focal	33

Tabla 4: Características de la imagen tomada. Fuente: Elaboración propia



Etiqueta	Tamaño	Orient	Calidad	Fecha y hora	Fabricante	Modelo	Distancia focal	F-stop	ISO
IMG_3838	6000x4000	✓	0.60894	2023:06:22 13:2...	Canon	Canon EOS 200...	33	F/5.6	100
IMG_3712	6000x4000	✓	0.613086	2023:06:22 12:5...	Canon	Canon EOS 200...	33	F/5.6	100
IMG_3749	6000x4000	✓	0.616742	2023:06:22 13:0...	Canon	Canon EOS 200...	33	F/5.6	100
IMG_3752	6000x4000	✓	0.620081	2023:06:22 13:0...	Canon	Canon EOS 200...	33	F/5.6	100
IMG_3797	6000x4000	✓	0.622715	2023:06:22 13:1...	Canon	Canon EOS 200...	33	F/6.3	100
IMG_3843	6000x4000	✓	0.622842	2023:06:22 13:2...	Canon	Canon EOS 200...	33	F/5.6	100
IMG_3798	6000x4000	✓	0.629021	2023:06:22 13:1...	Canon	Canon EOS 200...	33	F/5.6	100
IMG_3827	6000x4000	✓	0.631996	2023:06:22 13:2...	Canon	Canon EOS 200...	33	F/6.3	100
IMG_3737	6000x4000	✓	0.608831	2023:06:22 13:0...	Canon	Canon EOS 200...	33	F/5.6	100

Ilustración 12: Parámetros de la cámara estimados en Agisoft Metashape Professional. Fuente: Elaboración proia

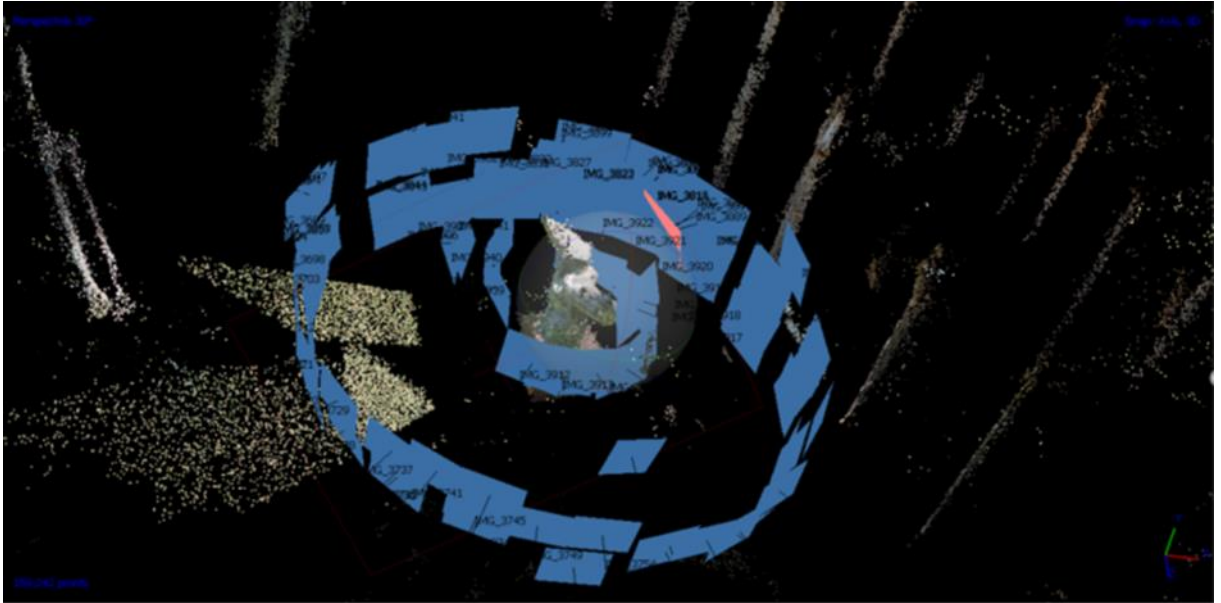
5.3.3.2. Orientación de imágenes

Una vez cargadas las imágenes, estas deberían estar alineadas. Para ello, el propio software busca la orientación de cada cámara y su posición. Además, busca puntos homólogos para iniciar el proceso SFM (*Structure from Motion*) o determinación de estructuras a partir de tomas en movimiento que utiliza métodos fotogramétricos automatizados de alta resolución y bajo coste y se basa en las visiones estereoscópicas clásicas para construir un modelo de nubes de puntos de paso.

La herramienta permite cambiar varios parámetros, empezando por la calidad de precisión, cuánto más alta sea se calcula la posición con precisión mientras si es baja, las posiciones se dan de forma rápida pero aproximada. Se ha eligió la calidad *Alta*. Además, se especifica la pre-selección de referencia se puede seleccionó *Origen*.

En las opciones avanzadas, se puede elegir el número de puntos clave por foto que marca el límite superior de puntos característicos en cada imagen que se tendrán en cuenta durante la etapa de procesamiento actual (Ayuda Agisfot Metashape). Es decir, cuántos más puntos se tienen en cuenta mejor es la alineación de fotos, por ello, se ha puesto el valor de 500 000 que es un número elevado para asegurar la buena alineación. También, se ha fijado el número de paso por foto en 100.000.

El proceso ha tardado algo más que 13 minutos, y ocupa 26 MB.



*Ilustración 13: Resultado orientación de imágenes en Agisoft Metashape Professional.
Fuente: Elaboración propia.*

5.3.3.3. Creación de la nube de puntos densa

En este paso se crea una nube de puntos densa a partir de las posiciones de las cámaras obtenidas en el paso anterior buscando puntos homólogos en dos o más fotografías, es por esto que en la planificación se ha asegurado el mayor solape posible.

Antes de ejecutar el proceso, como resultado del paso anterior, se observa la existencia de mucho ruido - debido a que la cámara captura más allá del objeto - lo que podría afectar al resultado de la nube de puntos densa. Para solucionar este inconveniente se ha redimensionado el espacio del trabajo y además se han borrado todos aquellos puntos que no pertenecen al objeto.

Como parámetros, se puede elegir la calidad al igual que en el paso de la alineación, pero la diferencia es que en este caso la configuración extra alta significa procesar las fotografías originales lo que demora muchísimo tiempo, mientras que en cada calidad inferior, Alta, Media y Baja se aplica una reducción preliminar del tamaño de la imagen en un factor de 4 (2 veces por cada lado) (Ayuda Agisoft Metashape Professional). Se optado por la calidad *Media*. En opciones avanzadas, se elige que coloree los puntos y que el filtrado de profundidad sea *Leve* recomendado para fotografías no aéreas.

Es la herramienta que más tiempo y espacio consume, su tiempo de procesamiento 6 horas y ocupa 4 GB en la memoria ofreciendo 14 millones de puntos.

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

Después de ejecutar el proceso y obtener el resultado, cabe la posibilidad de consultar el nivel de confianza de la nube de puntos obtenida, dando valores altos a los puntos que se encuentran en varias fotografías y más bajos a los que aparecen en menos. A la vista del resultado, se pueden aún eliminar puntos que realmente no pertenecen a la escultura. Este paso mejora aún más el modelado final.

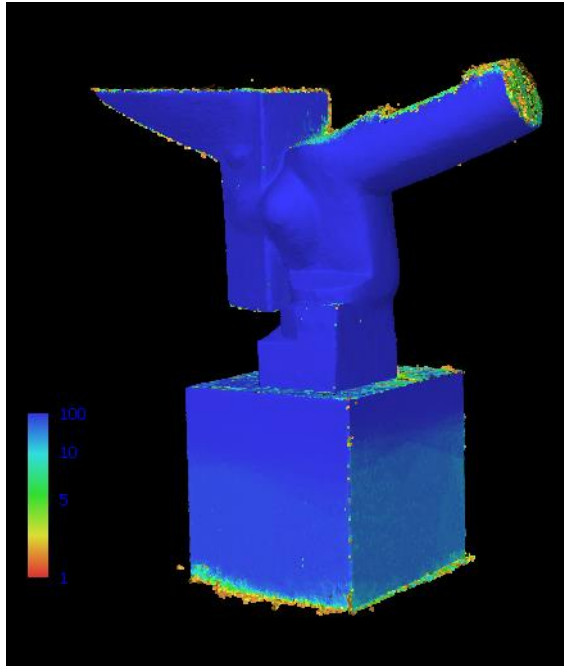


Ilustración 14: Nivel de confianza de la nube de puntos en Agisoft Metashape Professional. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 15: Nube de puntos densa en Agisoft Metashape. Fuente: Elaboración propia.

5.3.3.4. Creación de mallado

Teniendo la nube de puntos densa, se procede a la creación del mallado que consiste en la creación de una malla poligonal tridimensional. Se puede elegir entre dos tipos de superficies, la *arbitraria* o *bajorrelieve/terreno*, la primera opción es la recomendada para objetos cerrados como edificios, estatuas, etc, mientras la segunda, es para para el modelado de superficies planas, como terrenos o relieves, recomendada cuándo se trabaja con fotografías aéreas (Agisoft Metashape Professional Help). Se ha optado por la primera opción.

La malla se ha creado a partir de la nube de puntos densa, con la opción de interpolación activada para que se cierran agujeros en caso que existiera.

El número de caras *Alto* y la opción del coloreado activada.

5.3.3.5. Creación de textura

Con el deseo de obtener un color lo más parecido a la realidad, se crean las texturas a partir de las imágenes dónde el software nos permite diferentes modos como el genérico, ortofoto, cámara única entre otros. En este caso, se optó por el genérico que permite parametrizar el atlas de texturas para geometría arbitraria e intenta crear textura lo más uniforme posible (Agisoft Metashape Professional Help).

En el tipo de textura se eligió *Mapa RGB*, origen de datos *Imágenes*, el modo de mapeado *Conservar mapa UV* y habilitar el *Cierre de agujeros* en caso que los hubiera.

5.3.3.6. Producto final

Después de ejecutar el último paso que es el texturizado, el resultado es el modelado 3D de la escultura que ya está listo para ser exportado en varios formatos y ser utilizado. Se exportó en el formato **OBJ*, que es un formato admitido por varios programas de 3D.

**Modelado 3D de una escultura mediante
fotogrametría de objeto cercano**



Ilustración 16: Modelado 3D. Fuente: Elaboración propia.

5.4. MODELIZACIÓN MEDIANTE LÁSER ESCÁNER.

5.4.1. *Adquisición de datos*

Antes de proceder a la toma de datos, se planificó previamente la forma adecuada de hacerlo. Se decidió estacionar el láser escáner *Trimble TX6* en las cuatro esquinas a una distancia que le permita tener en su campo visual la escultura completa, de tal modo que entre una estación y otra haya suficiente solape.

Cuando se trabaja con este instrumento, es recomendable usar dianas, sobre todo cuando el objeto de estudio es lo suficientemente grande, pero en este caso no fue necesario colocarlas al tratarse de un objeto relativamente pequeño.

Tras estacionar el láser escáner correctamente, se configuró para que tomase los datos en el nivel 1 y la toma de datos en color.

El procesamiento de datos capturados se hizo en dos programas, *Realworks* y *3D Reshaper*.

5.4.2. *Procedimiento en Realworks*

5.4.2.1. Carga de datos y registro

Realworks dispone de dos formas de realizar el registro, la primera es manual y la segunda es automática. Se optó por la segunda opción, que a su vez permite hacer el auto-registro por planos sin necesidad de las dianas.

El primer paso es la carga de datos adquiridos en campo para empezar el tratamiento. Para el auto-registro por planos, se debe elegir una estación de referencia. Una vez finalizado el proceso se obtiene como resultado la nube de puntos.

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

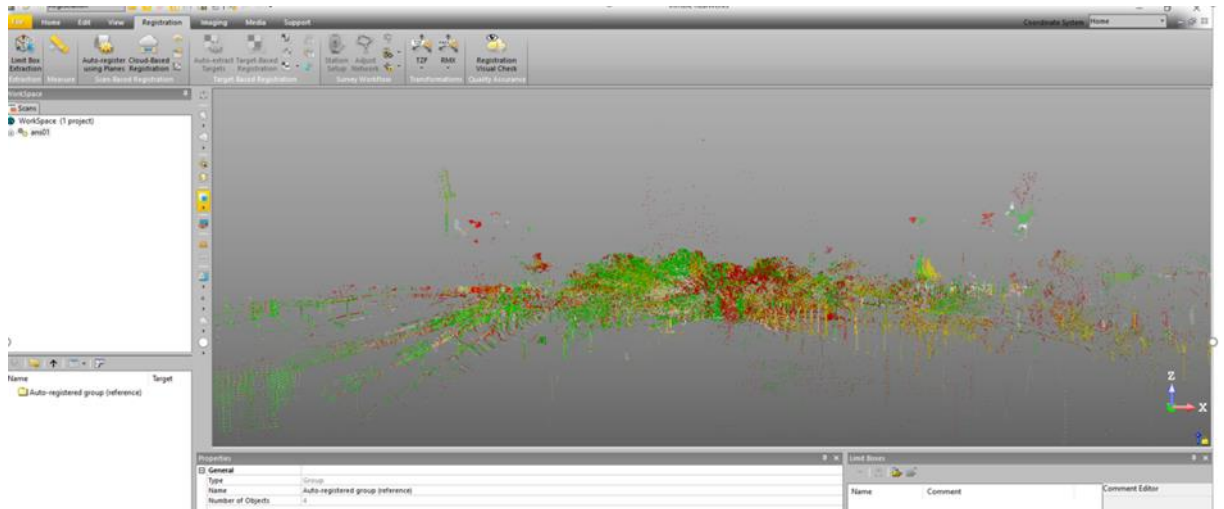


Ilustración 17: Resultado del registro en Realworks. Fuente: Elaboración propia.

5.4.2.2. Limpieza de la nube de puntos

A causa del espacio ajardinado que rodea la escultura, las personas presentes a la hora de la toma de datos y otros elementos, la nube de puntos contiene ruido, es decir, datos innecesarios para el proyecto. Para ello, se precede a la limpieza mediante varias segmentaciones, en concreto se realizaron cinco, seleccionando minuciosamente los puntos que se desea eliminar para no perder información.

Como resultado, se ha obtenido la nube de puntos que forma la escultura.

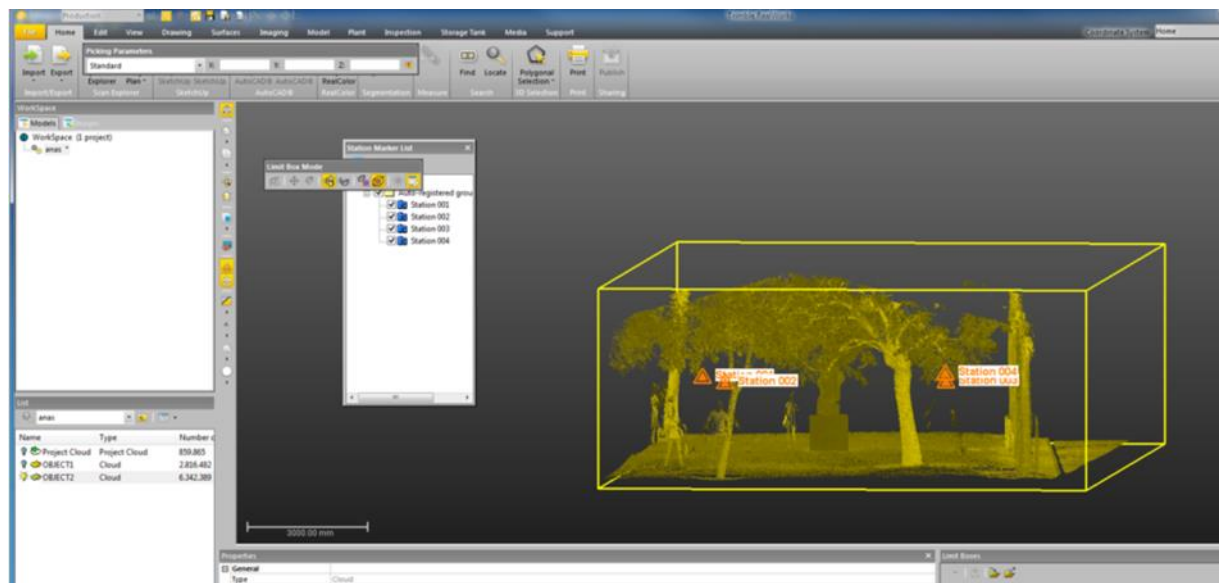


Ilustración 18: Proceso de segmentación en Realworks. Fuente: Elaboración propia.

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

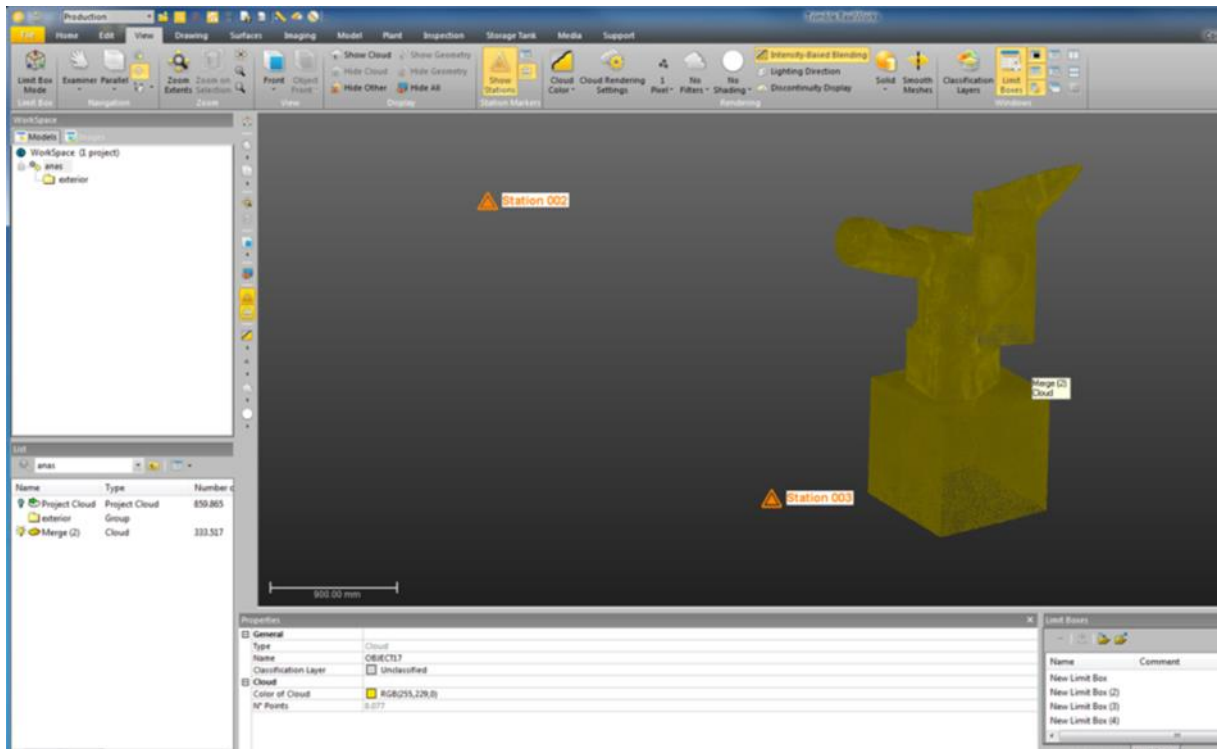


Ilustración 19: Nube de puntos densa en Realworks. Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar en *Realworks*, se ha exportado la nube de puntos en formato *txt que contiene la información x, y, z de los puntos y la información de las normales y el color RGB. La nube de puntos tiene 334173 puntos.

5.4.3. Procedimiento en 3D Reshaper.

Se ha importado la nube de puntos resultante del proceso en *Realworks*. La primera observación es la existencia de un mínimo ruido que se debe eliminar. El software permite realizar una limpieza por una intensidad dada, pero se debe tener cuidado de no exceder en el nivel de intensidad y borrar más de lo necesario, algo que presentará anomalías y no reflejará la realidad del modelado 3D. La intensidad elegida fue un 20, relativamente baja debido a que ya se ha realizado con detalle en *Realworks*.

El siguiente paso es la creación del mallado, que se realiza en dos pasos, el primero crea una malla rigurosa compuesta de triángulos regulares cubriendo toda la superficie de nube de puntos. El segundo paso, consiste en refinar la malla añadiendo los detalles que faltan en la malla.

El programa ofrece realizar el proceso de manera automática, sin necesidad de que el usuario elija los parámetros como la distancia promedia entre puntos, el error de desviación o el tamaño de triángulos.

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

Pero en este caso, hemos optado por introducir los parámetros manualmente, poniendo un valor de 23 mm de distancia promedio entre puntos y 70 mm de tamaño de triángulos para la detección de orificios.

Estos valores vienen de que el software los estima en una primera vez y los ofrece como sugerencia, al tener la opción de poder tener una vista previa antes de ejecutar el proceso, se va cambiando estos valores hasta que se obtiene el resultado buscado.

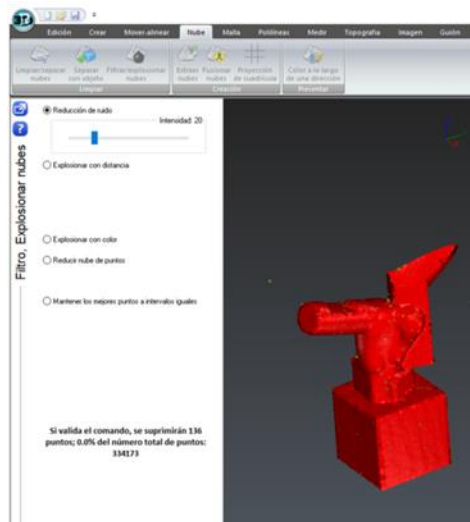


Ilustración 20: Suavizado nube de puntos en 3D Reshaper. Fuente: 3D Elaboración propia.



Ilustración 21: Resultado del mallado en 3D Reshaper. Fuente: Elaboración propia.

Una vez creada la malla, se observa la existencia de agujeros inicialmente esperados en la parte superior de la escultura debido a que el láser escáner no ha tomado datos por la parte superior, también en una parte inferior trasera y otros dos más en la parte del cilindro.

Para solventarlo, *3D Reshaper* cuenta con una herramienta para rellenar todos los huecos y tener de este modo el modelado 3D.

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

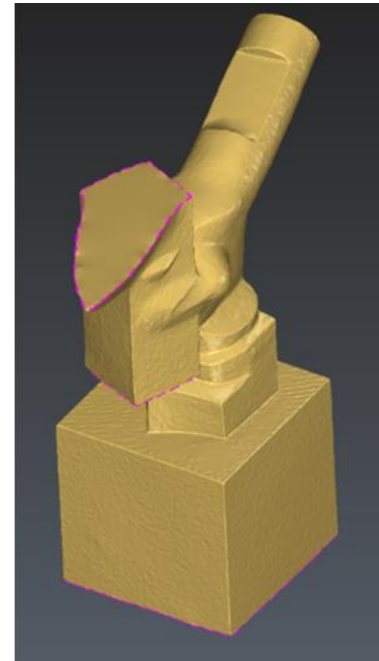
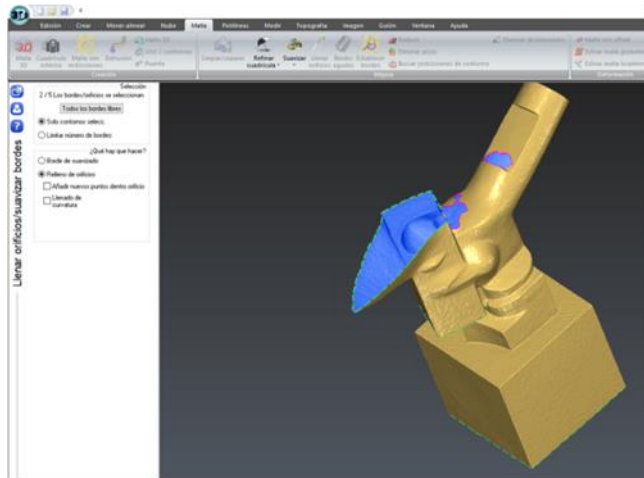


Ilustración 22: Rellenos de huecos en 3D Reshaper. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 23: Modelado 3D. Fuente: Elaboración propia.

Como último paso, se procede al texturizado a partir de unas fotografías. En este caso se emplearon un total de seis fotografías. Se abre la opción de texturizado en el programa, se cargan las fotografías y se referencia un punto en la imagen en el modelado.

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

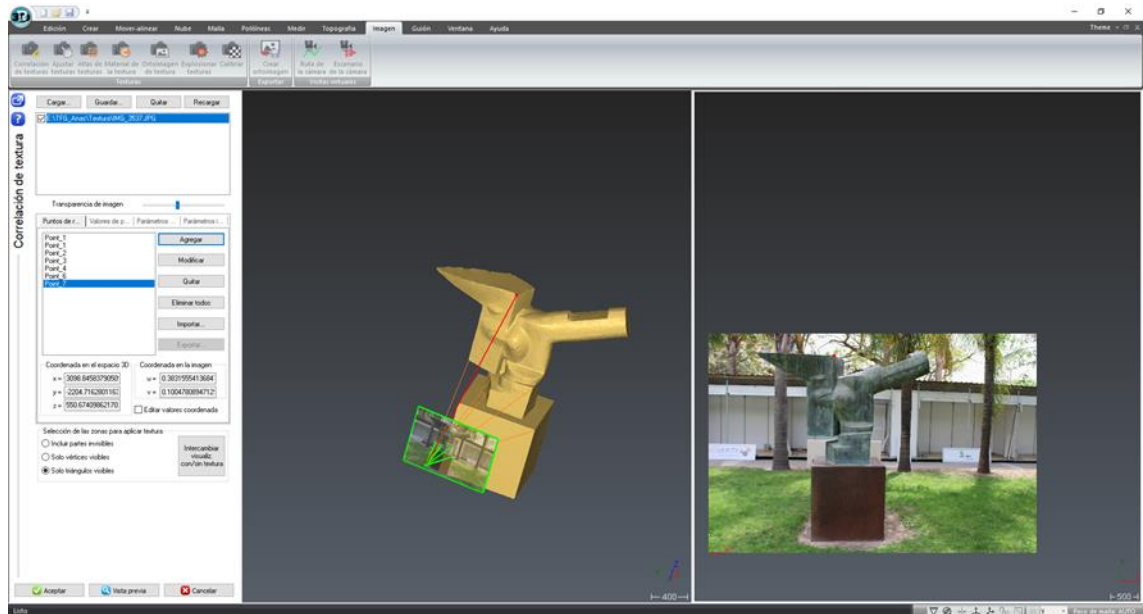


Ilustración 24: Proceso del texturizado en 3D Reshaper. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 25: Resultado final del texturizado en 3D Reshaper. Fuente: Elaboración propia

6. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para evaluar los resultados de ambas metodologías, se pueden analizar varios aspectos, entre ellos la comparación de la nube de puntos obtenida con ambas metodologías.

Para ello, las nubes de las que disponemos tienen diferentes escalas, aspecto que hasta ahora no hemos mencionado, y para comparar es necesario que ambas tengan la misma escala. En este caso, se optó por darle la escala real a ambas nubes utilizando el software *Mashelab*.

Como ejemplo se explica y se muestra a continuación el proceso y resultado que será aplicado a la nube de puntos obtenida mediante la cámara fotográfica. Para la otra nube se siguió el mismo proceso.

En *Meshlab* se importó la nube de puntos densa, y posteriormente se midió la longitud de uno de los lados de la base que mide 93 cm en realidad, en la unidad que trabaja el programa nos sale un valor de 899.879. Para el cálculo de escala dividiremos la medida real entre la obtenida en el software y el resultado es 0.1033 que aplicaremos en ventana de transformar escala para x, y, z. Aplicamos los cambios, y verificamos que se ha transformado correctamente. Por último, se exporta la nube de puntos resultante.

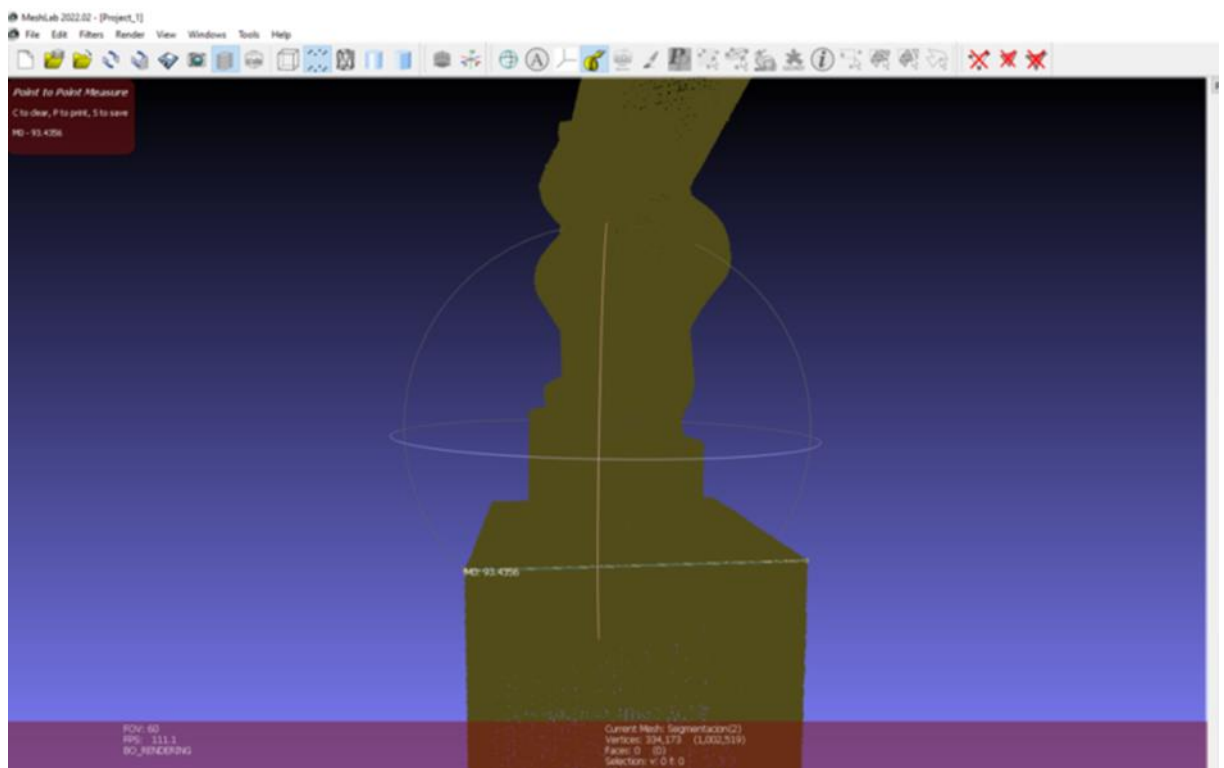


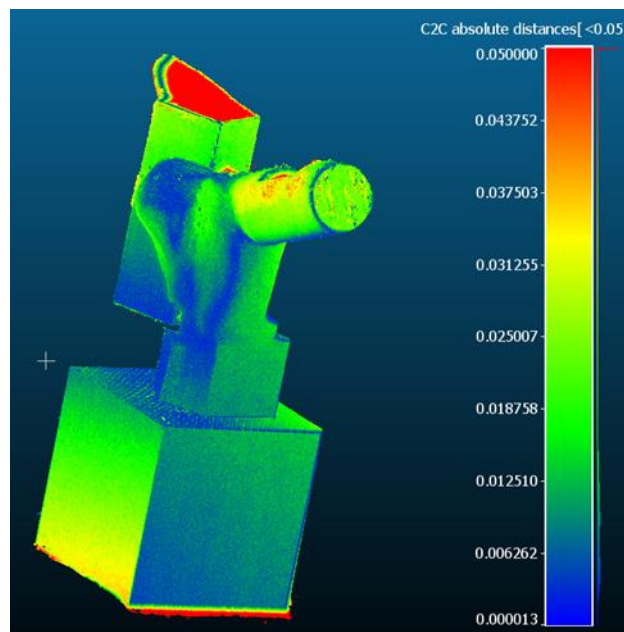
Ilustración 26: Resultado del escalado (93 cm) en Meshlab. Fuente: Elaboración propia

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

Para hacer la comparación, se utilizó el software *CloudCompare*. Se empieza cargando ambas nubes de puntos. Aunque tienen la misma escala, no tienen el mismo sistema de coordenadas, para hacer que coincidan, *CloudCompare* tiene la opción de alinear dos nubes indicando una nube de referencia, que en este caso es la resultante del Láser Escáner, y seleccionando unos puntos de referencia para que ayude a la ahora de alinear.

Una vez alineadas se pueden comparar con el método *Cloud to Cloud distance* (C2C) que computa las distancias entre dos nubes de puntos. Para cada punto de la nube comparada, el software busca el punto más cercano en la nube de referencia y calcula su distancia (Fuentes Porto, A. et al. E. M. (2021).).

La herramienta estima la distancia máxima entre puntos, en este caso, la nube de referencia como tiene un hueco en la parte superior el software estima una distancia exagerada. Analizando el resultado, se observa que por encima de los 0,50 mm no hay información. Por ello, que fue necesario, indicar al programa que muestre hasta un máximo de 0,5 mm para que sea visualmente interpretable.



*Ilustración 27: Resultado comparación nubes de puntos (C2C) en cm en CloudCompare.
Fuente: Elaboración propia*

Como era de esperar, las zonas donde más distancia haya es donde había huecos en la nube de referencia (Láser escáner).

Teniendo en cuenta que la precisión que ofrece el láser escáner es milimétrica, se puede deducir que el resultado obtenido por el proceso fotogramétrico mediante imágenes es muy bueno y supera las expectativas.

A la vista del resultado, excepto los huecos mencionados que se muestra con distancia mayor de entre 0,31 y 0,5 mm en colores rojizos,

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

el resto de la escultura tiene entre prácticamente 0 mm y 0,3 mm de diferencia y se observan con colores azules y verdes.

Otro aspecto que se puede analizar es el instrumento y el software utilizado. Aunque el láser escáner ofrece mejor precisión, para este trabajo, el proceso fotogramétrico mediante imágenes tomadas con la cámara cumpliría con el fin deseado. Por otra parte, el coste tanto del equipo como el precio de licencia de software requerido para el tratamiento de datos, la diferencia es muy notable dónde el precio del láser escáner y *Realworks* de trimble es extremadamente elevado frente a la cámara fotográfica y *Agisoft Metashape Professional*.

Con la cámara fotográfica, está el inconveniente de factores externos, como, por ejemplo, las sombras que afectan notablemente en el proceso.

Por último, ambas metodologías requieren planificación previa y seguir una secuencia clara de trabajo.

7. GEORREFERENCIACIÓN

La georreferenciación es la parte que menos peso lleva en el presente proyecto, pero no por ello deja de ser prescindible, de hecho, es todo lo contrario, se trata de una parte fundamental en cualquier proyecto de ingeniería. Es cierto que el proyecto, abarca el tema de modelado 3D, pero como se mencionó, en un futuro proyecto se podrá introducir el resultado del modelado en un portal, y eso significa que tiene que estar georreferenciado. Por ello, el objetivo es ubicar y posicionar la escultura.

La georreferenciación se llevó a cabo mediante técnicas GNSS, utilizando el GPS disponible en la ETSIGCT modelo "Leica Zeno FLX100 Smart Antena". Su objetivo es la localización de la escultura objeto de estudio.

El modelo ofrece tecnología RTK-NTRIP, y una precisión horizontal de 2 cm y vertical de 3 cm, siendo suficiente para el proyecto que estamos realizando.

Para la toma de datos, primero se inicia la aplicación *Leica Zeno Connect*, dónde se selecciona el perfil de correcciones en tiempo real, y se observa que las presiones van mejorando cada vez que se conecta a más satélites.

Como siguiente paso, se abre la aplicación *TcpGPS* para comprobar que la antena es la *FLX100*, la precisión alcanzada es la máxima posible, y que hay conexión a internet. También se introduce la altura.

Con estos datos verificados, procedemos a tomar puntos, en este caso cuatro puntos correspondientes a las esquinas de la escultura. Los datos obtenidos son los siguientes:

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
1	728775.038	4373467.161	56.200
2	728774.192	4373467.619	56.180
3	728773.794	4373466.779	56.202
4	728774.593	4373466.395	56.182

Tabla 5: Coordenadas de las cuatro esquinas escultura. Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que el sistema de coordenadas es el WGS 1984.

Estos datos están listos para usar y se pueden exportar en varios formatos, entre ellos a un shp.

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano



Ilustración 28: Toma de datos con el GPS. Fuente: Elaboración propia

8. PRESUPUESTO

Año 2022

Nivel salarial	Tabla salarial art. 33		Plus convenio según art. 38 convenio	Total anual
	Mes x 14	Anual		
1	1.765,51	24.717,14	2.396,68	27.113,82
2	1.331,06	18.634,84	2.396,68	21.031,52
3	1.283,52	17.969,28	2.396,68	20.365,96
4	1.176,74	16.474,36	2.396,68	18.871,04
5	1.051,43	14.720,02	2.396,68	17.116,70
6	905,87	12.682,18	2.396,68	15.078,86
7	875,48	12.256,72	2.396,68	14.653,40
8	864,28	12.099,92	2.396,68	14.496,60
9	857,97	12.011,58	2.396,68	14.408,26

Tabla 6: Tabla salarial, Fuente: BOE convenio de Ingenieros y Oficinas técnicas del año 2022

Esquema del agrupamiento de los puestos de trabajo por grupo profesional y nivel salarial

Grupo profesional	Nivel salarial	Personal Técnico	Personal Administrativo
		Puestos de trabajo (relación no exhaustiva)	Puestos de trabajo (relación no exhaustiva)
I	1	INGENIERO; ARQUITECTO; DOCTOR; LICENCIADO; TITULADO 2.º Y 3.º CICLO UNIVERSITARIO; GRADUADO UNIVERSITARIO CON MÁSTER UNIVERSITARIO OFICIAL HABILITANTE O MÁSTER UNIVERSITARIO OFICIAL (MÍN. 60 ECTS), CUANDO APORTE ESPECIALIZACIÓN Y COMPETENCIAS PROFESIONALES NECESARIAS PARA EL DESEMPEÑO DEL PUESTO DE TRABAJO. ANALISTA.	LICENCIADO; TITULADO 2.º Y 3.º CICLO UNIVERSITARIO; GRADUADO UNIVERSITARIO CON MÁSTER UNIVERSITARIO OFICIAL HABILITANTE O MÁSTER UNIVERSITARIO OFICIAL (MÍN. 60 ECTS), CUANDO APORTE ESPECIALIZACIÓN Y COMPETENCIAS PROFESIONALES NECESARIAS PARA EL DESEMPEÑO DEL PUESTO DE TRABAJO.
	2	GRADUADO UNIVERSITARIO; INGENIERO TÉCNICO; ARQUITECTO TÉCNICO; APAREJADOR; DIPLOMADO UNIVERSITARIO; TITULADO 1er. CICLO UNIVERSITARIO.	GRADUADO UNIVERSITARIO; DIPLOMADO UNIVERSITARIO; TITULADO 1er. CICLO UNIVERSITARIO
II	3	TÉCNICO DE CÁLCULO O DISEÑO; PROGRAMADOR INFORMÁTICO.	JEFE 1.ª ADMINISTRATIVO
	4	DELINEANTE-PROYECTISTA.	JEFE 2.ª ADMINISTRATIVO
III	5	DELINEANTE; TÉCNICO 1.ª; TÉCNICO MODELADOR BIM; TÉCNICO INFORMÁTICO.	OFICIAL 1.ª ADMINISTRATIVO; TRADUCTOR E INTÉRPRETE NO JURADO DE UNO O MÁS IDIOMAS EXTRANJEROS
	6	TÉCNICO 2.ª	OFICIAL 2.ª ADMINISTRATIVO
IV	7	VIGILANTE/SUPERVISOR/INSPECTOR DE OBRA; AUXILIAR TÉCNICO.	AUXILIAR ADMINISTRATIVO; TELEFONISTA-RECEPCIONISTA
	8	AYUDANTE.	

Ilustración 29: Grupos Profesionales. Fuente: BOE convenio Ingenieros y Oficinas técnicas del año 2022

En la elaboración del presupuesto, se ha tenido en cuenta lo siguiente:

Modelado 3D de una escultura mediante fotogrametría de objeto cercano

• El sueldo bruto anual es de 28760.16 euros, a esta cantidad se le suma la seguridad social con el valor de 580.85 euros, lo que resulta que el coste total empresa es de 29341.01 euros.

- El coste de la instrumentación.
- El coste de todas las licencias del software empleados en el trabajo.
- El alquiler mensual de la oficina.
- El coste del equipo informático.
- La duración del trabajo es de 7 días.
- En la programación no se han solapado actividades entre sí.
- Se ha aplicado un beneficio del 25 %.

A continuación, se detalla el presupuesto:

Actividad	Año	Mes	Día	Dias usado	coste (euros)
Salario	29341.01	2445.08	110.72	7.00	775.05
GPS			100.00	1.00	100.00
Cámara fotografica	445.00	37.08	1.68	2.00	3.36
Alquiler Trimble TX6			600.00	1.00	600.00
Licencia Agisoft Metashape Professional	3150.00	262.50	11.89	1.00	11.89
Licencia Realworks			128.00	3.00	384.00
Meshlab				1.00	0.00
Equipo informatico	2200.00	183.33	8.30	6.00	49.81
Alquiler despacho		800.00	26.67	7.00	186.67
Total					2110.77
Beneficio Industrial 25%					472.26
IVA (21%)					396.70
Presupuesto Total					2979.73

Tabla 7: Presupuesto. Fuente: Elaboración propia

9. CONCLUSIONES

Para concluir el presente trabajo fin de grado, se destaca la vital importancia de una correcta planificación en sus tres etapas (planificación, adquisición de datos y planificación de datos) y un correcto diseño de flujo de trabajo.

Ambas metodologías, han presentado muy buenos resultados acordes con el objetivo marcado al principio. Teniendo en cuenta el coste del láser escáner y su software, con la cámara fotográfica se puede realizar este tipo de trabajos.

El problema de Realworks, a pesar de es un líder en tratar la nube de puntos, no es amigable para editarlas, crear mallado y texturizado de un objeto pequeño, lo que se lleva a la ayuda de otro software como 3D Reshaper. En cambio, en Agisoft Metashape Professional se puede hacer el proceso completo, desde la carga de imágenes hasta el resultado final.

10. BIBLIOGRAFÍA

Betlem, B., & Nil, R. (2023). Geo-SfM. Obtenido de <https://unisvalbard.github.io/Geo-SfM/landing-page.html> [Consultado septiembre 2023]

L. Carrivick, J., W. Smith, M., & J. Quincey, D. (2016). Structur from motion in the geosciences. Wiley Blackwell. [Consultado agosto 2023]

Photogrammetry, A. S. (1980). Manual of Photogrammetry . Asprs Pubns, Falls Church, Va [Consultado agosto 2023]

Fuentes Porto, A., Díaz-González, E. M., Díaz-Alemán, M. D., & Amador-García, E. M. (2021). Proceso de registro y seguimiento de daños morfológicos en metal arqueológico mediante documentación 3D. Ge-Conservacion, 19(1), 309-319. <https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.1002> [Consultado septiembre 2023]

Ayuda software Agisoft Metashape Professional [Consultado septiembre 2023]

UPV, (2023) Museo Campus Escultòric, <https://cultura.upv.es/> [Consultado julio 2023]

Fernández, F. (2023) Qué cámara. <https://quecamarareflex.com/> [Consultado septiembre 2023]

11. ANEXOS

Anexo 1: Plano emplazamiento

Anexo 2: Report Agisoft Metashape Professional



LEYENDA TEMÁTICA

- Ubicación Escultura

Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: ETRS 1989
 False Easting: 500 000.0000
 False Northing: 0.0000
 Central Meridian: -3.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

MODELADO 3D DE UNA ESCULTURA MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA DE OBJETO CERCANO

--PLANO DE EMPLAZAMIENTO--

Autor: Anas Wajjari

Fecha: 06 de Septiembre de 2023

Agisoft Metashape

Informe de procesamiento

02 September 2023



Datos del levantamiento

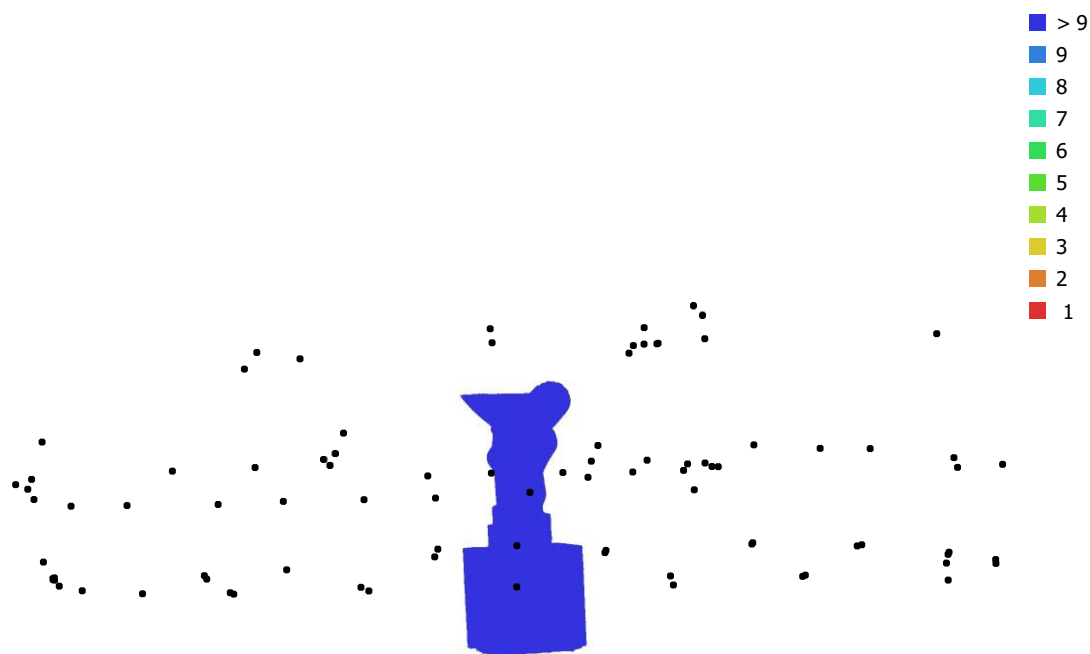


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 88

Imágenes alineadas: 88

Puntos de paso: 126,799

Proyecciones: 351,756

Error de reproyección: 0.692 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
EOS 2000D, EF-S18-55mm f/3.5-5.6 III (33mm)	6000 x 4000	33 mm	3.77 x 3.77 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

Calibración de cámara

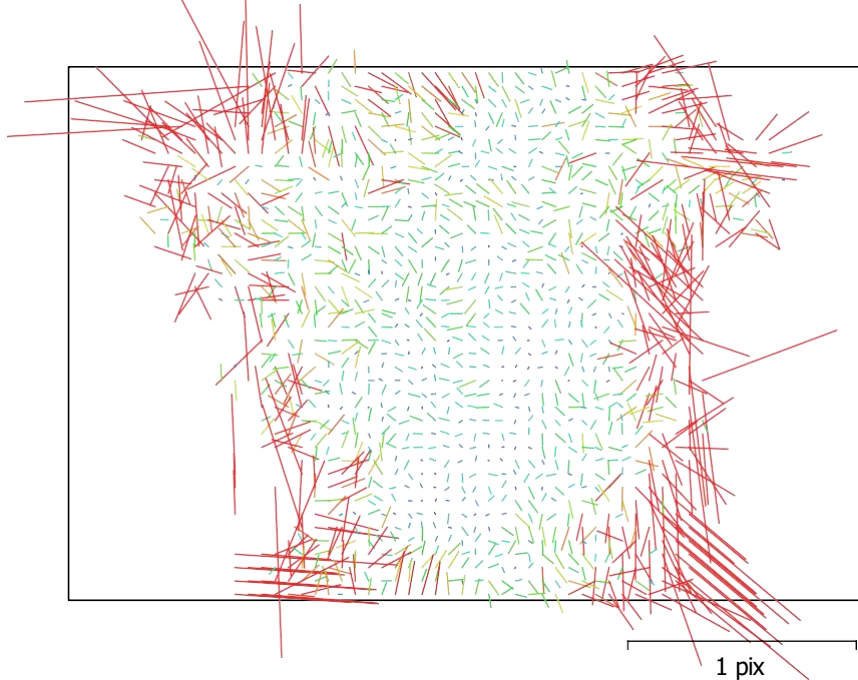


Fig. 2. Gráfico de residuales para Canon EOS 2000D, EF-S18-55mm f/3.5-5.6 III (33mm).

Canon EOS 2000D, EF-S18-55mm f/3.5-5.6 III (33mm)

88 imágenes

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	8744.93	0.26	1.00	-0.00	-0.04	-0.15	0.17	-0.14	-0.01	-0.04
Cx	19.2777	0.33		1.00	-0.00	0.01	-0.01	0.01	0.93	-0.02
Cy	8.30332	0.22			1.00	-0.01	0.01	-0.02	-0.03	0.78
K1	-0.0551287	0.00023				1.00	-0.95	0.89	0.02	0.00
K2	0.171605	0.0034					1.00	-0.98	-0.01	0.00
K3	-0.0175997	0.015						1.00	0.01	-0.00
P1	-0.00317721	1.1e-05							1.00	-0.02
P2	0.00197204	7.9e-06								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

Modelo digital de elevaciones

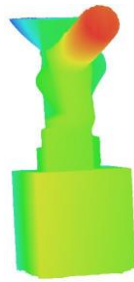


Fig. 8. Modelo digital de elevaciones.

Parámetros de procesamiento

Generales

Cámaras	88
Cámaras orientadas	88
Sistema de coordenadas	Local Coordinates (m)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

Nube de puntos

Puntos	165,152 de 396,301
RMS error de reproyección	0.121488 (0.908731 pix)
Error de reproyección máximo	0.37956 (32.3342 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	7.00709 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	3.57379

Parámetros de orientación

Precisión	Media
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	No
Puntos clave por foto	500,000
Puntos de paso por foto	100,000
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	No
Tiempo búsqueda de emparejamientos	13 minutos 22 segundos
Uso de memoria durante el emparejamiento	290.59 MB
Tiempo de orientación	7 minutos 0 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	126.71 MB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	26.56 MB

Mapas de profundidad

Número	85
--------	----

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	6 horas 4 minutos
Uso de memoria	4.66 GB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	495.46 MB

Nube de puntos densa

Puntos	14,832,572
Colores de puntos	3 bandas, uint8

Parámetros de obtención de mapas de profundidad

Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	6 horas 4 minutos
Uso de memoria	4.66 GB

Parámetros de generación de la nube densa

Tiempo de procesamiento	1 hora 30 minutos
Uso de memoria	14.20 GB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	671.55 MB

Modelo

Caras	4,294,222
-------	-----------

Vértices	2,148,663
Colores de vértices	3 bandas, uint8
Textura	4,096 x 4,096, 4 bandas, uint8
Parámetros de texturizado	
Modo de mapeado	Genérico
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096
Habilitar el cierre de agujeros	Sí
Habilitar el filtro de efecto fantasma	Sí
Tiempo de mapeado en UV	6 minutos 14 segundos
uso de memoria para mapa UV	2.57 GB
Tiempo de mezcla	8 minutos 21 segundos
Uso de memoria durante la mezcla	5.71 GB
Tamaño de archivo	207.32 MB
Modelo de teselas	
Textura	3 bandas, uint8
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Tiempo de procesamiento	30 minutos 53 segundos
Uso de memoria	1.46 GB
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos densa
Tamaño de tesela	256
Número de caras	Alta
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	30 minutos 20 segundos
Uso de memoria	4.53 GB
Versión del programa	1.6.5.11249
Tamaño de archivo	221.16 MB
Sistema	
Nombre del programa	Agisoft Metashape Professional
Versión del programa	1 6.5 build 11249
OS	Windows 64 bit
RAM	31.43 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz
GPU(s)	GeForce GTX 960M